

ترجمات

البصيرة

كيف تبدي كيمياء الحياة التخطيط المسبق والهدف

ماركوس إيبرلين



ترجمة: سامر ماميش

تقديم: د. سامي عامري

كتاب البصيرة


بسم الله الرحمن الرحيم

كتاب البصيرة

كيف توحي كيميا الحياة ..
بالتخطيط المسبق والهدف

FORESIGHT
HOW THE CHEMISTRY
OF LIFE REVEALS

ماركوس إيبرلين

MARCOS EBERLIN



كتاب البصيرة

كيف توحي كيميا الحياة .. بالتخطيط المسبق والهدف

مـاركـوس إيبـزلين

الطبعة الأولى

١٤٤٢هـ/٢٠٢١م



Business Center 2 Queen
Caroline Street, Hammersmith
London W6 9Dx, UK

www.Takween-center.com
info@Takween-center.com

الموزع المعتمد

+966555744843
المملكة العربية السعودية – الدمام

+201007575511
مصر – القاهرة

مؤسسة دراسات تكوين
للنشر والتوزيع
س ٠ ت : ٢٠٥٠١١٧١٢٠
جوال : ٠٥٥٥٧٤٤٨٤٣





المحتويات

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده...

عقد ريتشارد داوكنز -إمام تيّار الإلحاد الجديد- فصلًا في كتابه الذي صدر حديثًا "Outgrowing God"[1] تحت عنوان مثير: «من المؤكّد أنّه يجب أن يكون هناك مصمّم»؛ لبيان أنّ ظواهر الطبيعة توحي بوجود ذات قديرة عليمة، ثم عاد في الفصول اللاحقة لمحاولة نقض دلالة «ظواهر التصميم» على من أبدعها بحكمة، بدعوى أن العشوائية قادرة على تفسير كلّ شيء.

العشوائية هي الحل.. ذاك هو شعار الدراونة المنكرين دلالة الإبداع على البديع، ولكن لم يجبنا داوكنز في كتابه سالف الذكر ولا غيره عن السؤال الأهم في جدل النظم والعشوائية؛ وهو طريق نشوء جين وظيفي من العشوائية العمياء؛ إذ يخلط هؤلاء كعادتهم بين الداروينية التي تزعم القدرة على تفسير انتقال الوجود الحي من الخلية الأولى إلى التنوع الأحيائي الحالي كلّه، والانتخاب الطبيعي الذي يفسّر قدرة الكائنات الحيّة على مقاومة أسباب الانقراض لحينٍ؛ فكلّ شواهدهم في الانتخاب الطبيعي لا القدرة الخلقيّة للعشوائيّة.

---

(1) Richard Dawkins, *Outgrowing God*, Random House UK, 2019

وعامة تفسيرات الداروينية -باعتراف التطوريين ستفن جاي غولد (عالم الأحافير اللاأدري) وريتشارد لونتن (البيولوجي الملحد)- محض قصص لا برهان لها[1]. ولعلّ الحقيقة هي شرّ من ذلك؛ فإنّ الداروينية لا تهتم في عامة الأحوال بإقامة سيناريوهات تفصيلية لقصّة ظهور معالم التعقيد الوظيفي من الخلية الأولى إلى الحوت الأزرق، وإنّما تكتفي بالعناوين والأماني. والأمر برمّته يطلب إيمانًا أعظم من إيمان من يؤمن بالغيب الديني.

ولأنّ دعوى العشوائية تقدّم نفسها في الخطاب الإلحادي الشعبوي ضمن إطار علميّ يزعم الانحياز إلى خيار الملاحظة والصرامة النقديّة؛ فقد فتحت -عن غير قصد- لأنصار ما يُعرف «بالتصميم الذكي» المجال واسعًا لاختبار الملَكة الخلقية للعشوائية لكثير من مظاهر الأنظمة الوظيفية في عالم الأحياء في جانبيها الكبروي والصغروي.

وقد قدّم رموز التصميم الذكي مؤلفات كثيرة في محاكمة العشوائية، وعلى رأس هؤلاء مايكل بيهي[٢] وستفن ماير[٣] ووبليام دمسكي[٤]. وقامت دراساتهم على أنّ العشوائية عاجزة عن تفسير كثير من أوجه التصميم في عالم البيولوجيا (١) لامتناع قدرة العشوائية أن تصنع ما ينافر طبيعة جنسها، ومثال ذلك نشأة المعلومة information التي لا تصدر إلا عن حكمةٍ ضرورةً، أو التعقيد غير قابل للتبسيط، وهو الذي يرفض التطوّر التدرّجي لأنّ أجزاءه لا تعمل جميعًا إلا على صورة أوّليّة معقّدة لا يمكن أن تترقّى عبر مراحل وسيطة، (٢) أو لأنّ العشوائية لا يمكنها أن تنتهي بإنتاج هذا التنوّع الأحيائي ضمن المدة الزمنية القصيرة للحياة،

---

(1) Stephen Jay Gould and Richard Lewontin, "The Spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm: A Critique of the Adaptationist Programme," Proceedings of the Royal Society. Volume B 205 (1979).

(2) See Michael Behe, Darwin's Black Box: The Biochemical Challenge to Evolution, 2nd edition, London : Free, 2006.

(3) Stephen C Meyer, Signature in the Cell: DNA and the Evidence for Intelligent Design, New York : HarperOne, 2009.

(4) William A Dembski, No Free Lunch : why specified complexity cannot be purchased without intelligence, Lanham, MD : Rowman & Littlefield, 2007

فإنّ الانتقال -مثلًا- من الكائن شبيه القرد منحني الظهر إلى ما يُعرف «بالإنسان العاقل» يحتاج أزمنة تبلغ أضعاف أضعاف الزمن الذي يفترضه الدراونة[1].

وقد اختار مؤلّف الكتاب الذي بين أيديكم أن يقدّم مساهمته الجادة في بيان عجز العشوائية عن نقض حقيقة النظم. وهو كاتب غير دخيل على العلوم ومناهجها؛ فهو عالم كيمياء برازيلي بارز نشر قريبًا من ألف مقال علمي، كما أنّه عضو في أكاديمية العلوم البرازيلية. وهو في هذه الصفحات التي تنتظرنا يعدنا برحلة ماتعة في الأرض وفي السماء بلغة علميّة لا تسفل إلى التبسيط المخل ولا تنفر إلى التعقيد التخصصيّ.

وقد حرص الكاتب أن يسير بنا في بعض أنحاء ملكوات السماوت والأرض؛ في عالم البيولوجيا والكيمياء والفيزياء؛ فجمع بذلك آفاقًا متعدّدة من عالمنا الفسيح في عينَي القارئ؛ ليثير فيهما صدمة الدهشة، ومتعة لذاذة الكشف. وكان زاده سرد الأمثلة المتنوعة، مع الحرص على الدقة العلميّة.

اختار المؤلّف أن يحدّثنا بعمق عن عالم الخلية ودقيق عضيّاتها، وعظيم تعقيدها؛ لإدراكه أنّ موضوع أصل الحياة مقبرة العشوائية؛ إذ إنّ الخليّة الأولى البدائية معقدة منذ نشأتها رغم أنّ الانتخاب الطيعي لم يبدأ عمله بعد؛ فإنّ الانتخاب الطبيعي لا يعمل إلّا بعد ظهور آلية التكاثر. ولذلك يحرص كثير من رموز الإلحاد، -كريتشارد داوكنز- على التأكيد أنّ الداروينية لا تعلّق لها بأصل الحياة، وأنّ أصل الحياة لا يزال لغزًا[2] وأصل الحياة هو الذي قاد أنتوني فلو -الفيلسوف الذي كان يقود الإلحاد في الثلث الأخير من القرن العشرين- إلى الإيمان بخالق بعد أن أذهلته طبائع النظم في الحمض النووي الصبغي (الدنا)[3].

---

(1) See Ann Gauger, Douglas Axe and Casey Luskin, *Science and human origin* (Seattle, Wash.: Discovery Institute Press, 2012), pp.24-26

(٢) يذكر ذلك في مناظراته ومحاضراته.

(3) Antony Flew, There Is a God: How the World's Most Notorious Atheist Changed His Mind, New York: Harpercollins 2008, p.75

وقد أحسن المؤلّف الإشارة إلى أزمة الماديين في أمر أصل الحياة عند حديثه عن الخلية بقوله: «إذا عزونا نشأة الأغشية الحيوية إلى عمليات مادية عمياء، سنحتاج للجوء إلى مجموعة كبيرة من «**المعجزات**» الكيميائية». نعم، هي المعجزات التي يفرّ منها الماديون، لكنّهم يلقونها مرّة أخرى في آخر طريق بحثهم العلمي.

ويسخر المؤلّف من العشوائيين في تعليقه على منح جائزة نوبل لعام ٢٠١٦ إلى مجموعة من العلماء لتصميمهم آلات جزيئية (رافعة ضئيلة، وعضلات اصطناعية، ومحركات صغيرة..)، واكتشافهم آليات تصحيح الخطأ في الحمض النووي الصبغي، فقال: «هذه الجولة من البحث والتطوير الهندسي تستحق تمامًا جائزتي نوبل متتابعتين. فهل يجب علينا إذن تصديق أن الأعجوبة الهندسية التي اكتشفها هؤلاء العلماء اللامعين قد أنتجت نفسها عبر عملية عشوائية؟ إن احتاج اكتشاف وظيفة هذه الأعجوبة الهندسية إلى عبقري، **فكم من العبقرية يلزم لإنشائها؟**» .

ومن جميل لفتات المؤلّف أنّه يظهر لنا النظم العجيب الحكيم حتّى في الأشياء التي تبدو لنا بسيطة في بنائها؛ إذا يكشف من خلال النظر المجهري والتحليل الكيميائي أنّها بالغة التعقيد وعظيمة في تصميمها، ومثال ذلك بناء البيضة الذي هو أبعد ما يكون عن أن يوصف أنّه تابوت للجنين؛ فإنّ البيضة بناء لحضّانة دقيقة التركيب لنمو كائن جديد يتهدده الموت كلّ حين...

ولا يكتفي المؤلّف بلفت أنظارنا إلى ما ظاهره البساطة، دلالةً على النظم، وإنّما يذهب بنا إلى ما هو أبعد من ذلك وأكثر إثارة بالتنبيه إلى الحكمة البالغة في ما هو قبيح ومنفّر؛ ومن ذلك حديثه عن فائدة الرائحة النتنة للجيف. يقول: « إن العلاقة بين المذاق السيئ والرائحة السيئة والطعام السيئ وطيدة لدرجة أننا، ومعظم الحيوانات، سوف نتضور جوعًا حتى الموت بدلًا من تناول اللحم النتن (ما عدا الطيور الجارحة التي تمتلك القدرة الهاضمة للتعامل مع الجِيَف النتنة)، تبدو إشارة اللحم النتن مخططة بعناية ».

والمؤلّف في حديثه كلّه مدركٌ لما قد يتعقّبه به الدراونة من نقود ونكير؛ ولذلك اعتنى بعرض اعتراضات الدراونة، مع بيان ما فيها من قصور أو خلو من البرهان الجاد والاكتفاء

بالخيال المحض؛ ليكون حديثه كلّه مواكبًا للجو السجالي القائم اليوم بين القائلين بالحكمة والمنحازين إلى العشوائية.

ومن ظريف ما يُشار إليه في هذه المقدمة أنّ هذا الكتاب لم يلق هجومًا من ملاحدة الداروينيّة في أمريكا، رغم ترصّدهم لكلّ إصدارات الناشر - مركز ديسكوفري- الذي يُعاني منذ تأسيسه هجومًا حادًا من اللوبي الدارويني المنتشر في عامة الجامعا الأمريكية، خاصة في أقسام البيولوجيا. ولعلّ سبب ذلك أنّ المؤلّف عالم ممارس للعمل العلمي، له دراسات منتشرة في مجلات محكّمة تشهد لتفوقّه في مجاله بما يقطع الطريق على عادة التشكيك في معرفة الكاتب بموضوع درسه. كما أنّ هذا الكتاب قد حاز على تزكيات عدد من أصحاب جائزة نوبل مثل البيولوجي جون جردون والكيميائي جرهرد إرتل؛ فلا جدوى -عندها- من تكرار شبهة نشر المؤلّف العلم المزيّف pseudoscience.

ولعلّي أستغلّ حديثي هنا بالإشارة إلى توسّع تيّار التصميم الذكي خارج الولايات التحدة الأمريكية، خاصة في أمريكا اللاتينية حيث استطاع هذا التيار أن يضع له موطأ قدم في الدوائر العلمية من خلال الكتب المترجمة والدورات العلمية واستقطاب العلماء المتميزين.

وللأسف نحن -في البلاد المسلمة- نفتقد طبقة المؤلفين المتخصصين في البيولوجيا والكيمياء الذين يستصحبون أثناء العرض والنقاش مقولات الداروينية الجديدة للرد عليها استباقًا. ولا يزال طريق عرض دلائل النظم «سرديًا» غير آبه في كثير من الأحيان بمعارضات العشوائيين، وإن كانت قد ظهرت منذ سنوات قليلة طبقة من الباحثين الشبان استطاعت هضم إصدارات مركز ديسكوفري، وهي تجتهد لصناعة خطاب إسلامي عصري، ولكنها -للأسف- بعيدة عن المنابر الإعلامية الكبرى..

وأخيرًا، يجب عليّ أن أقدّم شكري لمركز تكوين على اهتمامه بتعريب هذا الكتاب الذي لم يمض على إصدره في الولايات المتحدة الأمريكية سوى زمن قصير جدًا، ليضاف إلى مجموع المطبوعات العربية القيّمة للمركز، بما فيها من نفائس المكتبة الغربية في باب دعم دلائل الإيمان والرد على الإلحاد..

والحمد لله على هدايته فضله..

د. سامي عامري

وصف الكتاب:

لنتعرف على الحشرات القافزة المزوَّدة بمسنَّنات نقل حركة -حقيقية- ونتعرف على التقنية المبدِعة وراء لَكْمَة الجمبري القاهرة.

ثم ندخل في العالم الغريب للنباتات المفترسة، ونتفحص الآلة البروتينية الدقيقة في عين الطائر التي تعمل كجهاز تحديد المواقع العالمي، مستخدمة لظاهرة التشابُك الكُمُومي.

تعال نرافق العالم البرازيلي المرمُوق (ماركوس إيبرلين) وهو يكشف الكثير من الحلول المبتكرَة لتحديات هندسية مهمة في الكيمياء والبيولوجيا، حلول تدلنا على ما هو أبعد من التطور الأعمى، تدلنا على آثار سمة تفرَّدت بها العقول - ألا وهي:

البصيرة.

التقريظ

من دواعي سروري أن أوصي بهذا الكتاب لأولئك المهتمين بكيمياء الحياة؛ فالمؤلف خبير في مجال الكيمياء، ويعرض لنا الاهتمام الحالي في علم البيولوجيا ضمن سياق كيميائي، ويسعدني أن أوصي بهذا الكتاب.

السير جون ب. غوردون، دكتوراه، جائزة نوبل في الفيزيولوجيا/ الطب (٢٠١٢م)، ومؤسس مشارك في معهد غوردون، جامعة كمبردج.

دراسة لافتة لدور البصيرة في البيولوجيا.

براين ديفيد جوزيفسن، دكتوراه، جائزة نوبل في الفيزياء (١٩٧٣م)، أستاذ فخري للفيزياء، جامعة كمبردج.

من دواعي سروري أن أوصي بقوة بكتاب «البصيرة» لمؤلفه د. ماركوس إيبرلين، كمادة رائعة وغنيّة، يقدم هذا الكتاب معلومات متقنة عن العلة الغائِيَّة teleology، وهو مجال علمي مُثير وهام يقدم أدلة لا يمكن دَحْضُها عن وجود البصيرة في الطبيعة.

إن الحجج المطروحة في الكتاب تدعمها بشكل مُقنِع بيانات تجريبية لا يمكن ردها، وقد سبق نشرها، واستفاد د. ماركوس إيبرلين ببراعة من خبرته التي حصل عليها عبر ما يزيد على خمسة وعشرين عامًا، من تطبيق مِطْياف الكُتلة في مجالات متنوعة مثل الكيمياء الحيوية، والبيولوجيا والكيمياء الأساسية؛ ليخلص إلى قضية مقنِعة ستأسر حتى أشد القراء تشكُّكًا. يوضح كتاب (إيبرلين) أن المعلومات العلمية المتوفرة حاليًا تشير بشكل متزايد إلى وجود

كائن عُلوي قد خطط الكون والحياة بعناية. وهذا الاختراق سوف يحدث ثورة في العلم في الأعوام القادمة.

رودني أغوستي، دكتوراه، أستاذ الكيمياء في الجامعة الفيدرالية لميناس غيرايس، بيلو هوريزونتي، البرازيل.

رغم الزيادة الهائلة في المعلومات خلال القرون السابقة فما زالت توجد جوانب مهمة من الطبيعة وصل فيها الفهم العلمي إلى حدوده، يصف (إيبرلين) بطريقة مكثَّفة عددًا كبيرًا من هذه الظواهر. وتتراوح من الحياة إلى الفيزياء الفلكية، وفي كل مرة نصل فيها إلى هذا الحدّ يأتي دور الإيمان، يسمي (إيبرلين) هذا المبدأ «البصيرة»، وسواء وافق المرء مع مقاربة (إيبرلين) أم لا، فقد أصبح واضحًا جدًّا أن الطبيعة لا تزال مليئة بالأسرار، التي تجاوز فهمنا المنطقي وتجبرنا على التواضع أمامها.

غيرهارد إرتل، دكتوراه، جائزة نوبل في الكيمياء، (٢٠٠٧م)، المدير السابق لقسم الكيمياء الفيزيائية، معهد فرتز هابر، من جمعية ماكس بلانك، برلين، ألمانيا.

ماركوس إيبرلين، أحد أمهر الكيميائيين في العالم اليوم، ألف كتابًا رائعًا يتوجب قراءته على أي شخص يفكر بماذا يقوله العلم حقًا عن الكون والحياة.

د. موريسيو سيمويز أبرو، أستاذ في جامعة مدرسة الطب ساو باولو، ساو باولو، البرازيل، رئيس تحرير **مجلة اضطرابات البطانة الهاجرة والألم الحوضي**.

لماذا يقف إنسان ما في مواجهة جيش؟ ربما لأن الرجل مجنون. ربما يريد أن ينتحر. أو لعله يملك أسلحة فتَّاكة جدًّا. الأستاذ ماركوس إيبرلين هو هذا الرجل. يتحدى (إيبرلين) في كتابه «البصيرة» نظرية مقبولة بشكل عام تقريبًا. وما هي أسلحته التي يهاجم بها قلعة مَنِيعة كهذه؟ إن الخيار بيدك لتقبل أو ترفض الدليل والحجة اللذين يطرحهما. وفي النهاية يمكنك أن تصل لنتيجة أنه محق أو أنه مجنون فعلًا. ولكن لفهم وجهة نظر (إيبرلين) ولنكون صادقين فكريًّا فإن هذا الكتاب يجب علينا قراءته.

برينو أ.د. نيتو، دكتوراه، أستاذ الكيمياء، جامعة برازيليا، برازيليا، البرازيل، محرر مساعد للتقدم في RSC، مجلة الجمعية الملكية للكيمياء.

لقد أذهلني عمق وسعة معرفة الأمور البيولوجية في كتاب البصيرة، فانطلاقًا من مجال تخصّصه في الكيمياء؛ يكشف لنا (إيبرلين) الطرق المذهلة التي تجعل كيمياء الدنا (DNA) والرنا (RNA) كاملتين لأداء مهامهما، إن تساءلت في درس البيولوجيا: ما هو السبب ليستخدم الرنا (RNA) سكر الريبوز؟ ولماذا يستخدم الدنا (DNA) سكر الريبوز منقوص الأوكسجين؟ أو لماذا يستخدم الرنا (RNA) اليوراسيل في حين يستخدم الدنا (DNA) الثيامين بالمقابل؟ فإن كتاب ماركوس إيبرلين سيخبرك بالسبب، وكيف أن هذه الخيارات ملائمة بشكل تام لهدفها، وهذا مثال لافت للبصيرة. وكما يكشف الوصف التفصيلي الذي قدّمه (إيبرلين) فإن الكيمياء والبيولوجيا لجزيئي الدنا (DNA) والرنا (RNA) تأتيان معًا في أحجية متشابكة تعمل عندما يكون كل شيء في مكانه. إن الملاءمة و«البصيرة» اللازمة لبنائها أمر لا يصدق. يتناول كتاب (إيبرلين) الحياة على مستوى الأعضاء، كل شيء عندنا من أعضاء الحس إلى التكاثر الجنسي والبِنية الرائعة لبيضة الطائر، لا يوجد أي حجة من حججه مبنية على نقص المعلومات أو على عقلية «إله الفجوات»؛ بل تعتمد على المعلومات الإيجابية لما تطلبه الكيمياء الحيوية والفيزيولوجيا للحياة.

آنا غوجر، زميل رئيسي في مركز العلم والثقافة، مؤلف مشارك، **كتاب العلم وأصل الإنسان** (مترجم للعربية).

في أحدث كتاب له «البصيرة»، فإن الباحث المرموق الحاصل على الجوائز، الأستاذ ماركوس إيبرلين يجيب بقوة عن أسئلة حساسة عن أصل الحياة، مستخدمًا مجموعة من أسلحة البيانات العلمية، يوضح (إيبرلين) وجهات نظره عبر أمثلة متنوعة تكشف عن وجود البصيرة التي لا تُصدَّق في تخطيط أنظمة الكيمياء الحيوية. انطلاقًا من الغشاء الخلوي والشيفرة الوراثية والتكاثر الجنسي

إلى كيمياء الجو والطيور والأعضاء الحسِّية والنباتات المفترسة، فإن الكتاب يلقي ضوءًا من الفهم العلمي الجيد وسط ظلام أيديولوجيا المذهب الطبيعي.

كيلوسن موتا، دكتوراه، أستاذ كيمياء، جامعة أمازون الفيدرالية، مانوس، البرازيل.

كتاب «البصيرة» وُضع لأولئك المستعدين لتحدي أنفسهم بمنظور جديد، هو للناس الأحرار الذين يجرؤون على الذهاب أبعد من العقائد العلمية الدوغمائية، إن كتاب ماركوس إيبرلين هو رحلة عبر أدلة الكيمياء والبيولوجيا؛ للوصول إلى الدور الذي لا يمكن الاستغناء عنه للبصيرة في أصل الحياة والكون، قدمها المؤلف بطريقة ممتعة سهلة الفهم.

دانيالا دي لونا مارتينز، دكتوراه، أستاذ مساعد في الكيمياء، جامعة فلومينينس الفدرالية، ريو دي جانيرو، البرازيل.

يقدم كتاب «البصيرة» أدلة جديدة مُوقِظَة جاء معظمها من البيولوجيا، بأن العلم يحتاج أن يفتح منظوره لأصل الكائنات الحية؛ ليمكنه تعليل إمكانية عجز التطور مادي النَّزْعة المنطلِق من المذهب الطبيعي المَحْض عن تفسير هذه الحقائق. أُلِّف الكتاب بأسلوب سهل القراءة، وسيحظى بتقدير كلٍّ من العلماء وغير العلماء على حد سواء، ويشجع الناس على اتباع الحقيقة حيث يصل بهم الدليل، كما نصح بذلك (سقراط) في غابر الزمان.

مايكل ت. بورز، دكتوراه، أستاذ متميز، قسم الكيمياء والكيمياء الحيوية، جامعة سانتا باربارا، كاليفورنيا.

إهداء المؤلف

إلى زوجتي المحبة إليزابث، وبناتي ثياس، وليفيا، ونينا، وابني نيكولاس..
وأحفادي ليا، وكلير، وثيو، ولوكا، وتوماس..
إلى الذي اتبع الدليل -أو أثق تمامًا- أنه سيتبع الدليل حيث يؤدي به، وقبل ذلك:
إلى أولي الأبصار.

شكر
(نقل من آخر الكتاب)

أشعر بالامتنان الكبير لكثيرين ساهموا في هذا الكتاب. وأذكر منهم في البرازيل على الأخص Enézio Almeida Filho لريادته في نشر التصميم الذكي في البلد، وأشكر Augustus Nicodemus Lopes لتنظيمه باكورة المؤتمرات البرازيلية للتصميم الذكي في جامعة مكنزي، ولتحفيزه هذا الكتاب بتأسيس مركز ديسكفري-مكنزي للبحث في العلم والإيمان والمجتمع عام ٢٠١٧م. ولدعوتي لأكون منسق المركز، كما أنني ممتنٌّ لكلٍّ من Davi Charles Gomes (الرئيس) وBenedito Guimarães Aguiar Neto (رئيس جامعة مكنزي).

ولا ينقطع شكري وامتناني لمعهد ديسكفري في الولايات المتحدة الأمريكي، وأعني جوناثون ويت لنصيحته، ومساهماته الرائعة بالأسلوب وإعادة تنظيم الفصول والأشكال وانتقاء الحجج. كما أشكر Rachel Adams الذي راجع مخطوط الكتاب لأول مرة، وساعد بإعادة التنظيم والتشذيب مصححًا لغتي الإنكليزية الضعيفة، فجعل الأسلوب أقرب للغة الإنكليزية الواضحة والأنيقة (وهذا كان عملًا جبّارًا). كما أنني ممتنٌّ جدًّا للعلماء؛ جوناثون ويلز، آنا غوجر، غوليرمو غوزاليس، راي بوهلين، سكوت منيش، ماتي لاسولا، مايكل بيهي، براين ميلر، وكذلك للفيزيائي هاورد جليكسمان؛ لتقديمهم النصح بخصوص بعض أجزاء الكتاب. وأشكر مُراجع الكتاب المتقِن. (ولم أذكر اسمه هنا نظرًا لمخاطر الاضطهاد

الأكاديمي). ولا يمكنني أن أنسى ذِكر مايكل بيهي وستفن ماير وجوناثون ويلز ووليام ديمبسكي ومايكل دنتون ودوغلاس أكس؛ لكتبهم الملهمة في التصميم الذكي. وأشكر مايك بيزي لترتيب الكتاب الممتاز، وبراين غايغ لتصميم الغلاف، وأونتيل أروجو للرسوم التوضيحية الرائعة، وجون ويست المدير المساعد لمركز العلوم والثقافة في معهد ديسكفري أنْ دعاني لتأليف هذا الكتاب، بناء على محاضرة ألقيتها في مؤتمر التصميم الذكي في ألبيرتا ٢٠١٧م.

الفصل الأول
البصيرة في الحياة

إنّ علم البيولوجيا الآن في خِضَمّ ذِروة اكتشافاته.

أدرت مختبر تومسون لمِطْياف الكُتلة mass spectrometry في مؤسستي الأكاديمية السابقة (جامعة كامبيناس في ساو باولو، البرازيل) لمدة خمس وعشرين سنة، حيث بحثت مع فريقي هناك في العديد من مجالات الكيمياء والكيمياء الحيوية والعلوم الطبية، كانت مجالات حديثة جدًّا لدرجة أنه لا يوجد لها أسماء؛ كل شيء من البروتيوميات proteomics، والليبيدوميات lipidomics، والتصوير بمِطْياف الكُتلة إلى البترووليوميات petroleomics، والتبصِيم البكتيري fingerprinting.

تعرفت بفضل بحثي، إضافة إلى دوري كرئيس جمعية مِطْياف الكُتلة البرازيلية ومؤسسة مِطْياف الكُتلة العالمية، على الباحثين الرائدين الآخرين في البرازيل وحول العالم. كانت الحماسة طاغية عند التقائنا في المؤتمرات، فبفضل مجموعة التقانات والتقنيات المتقدمة، يكشف كل أسبوع تقريبًا أعجوبة جديدة في العالم البيولوجي.

تُنتج بعض هذه الاكتشافات أدوية أو تقنيات طبية جديدة، مثل: قلم السرطان الذي طورته ابنتي (ليفيا) حديثًا وحاز على جوائز كثيرة. وتمد اكتشافات أخرى المهندسين بأفكار جديدة للاختراع في مجال المحاكاة الحيوية biomimetics المتوسع. لكن ما زالت هناك اكتشافات أخرى ليس لها تطبيق عملي مباشر، فهي مجرد تجلِّيات للإبداع البيولوجي الجميل، أي: اكتشافات علمية لذاتها.

كل هذه المعرفة مبهجة بحد ذاتها. وبنفس الوقت أنا مقتنع الآن بأن العديد من هذه الاكتشافات تشير سويةً إلى شيء وراءها، شيء أكثر روعة. يكشف عصر الاكتشافات الجديد مجموعة هائلة من الحلول البارعة لتحديات هندسية كبيرة، حلول تبدو لكل العالم أنها محتاجة لشيء غير موجود في المادة وحدها. سأقول الصراحة في هذا الأمر قدر استطاعتي: يبدو أن ذروة الاكتشافات تشير إلى أمرٍ وراء أي عملية تطوُّرية عمياء، إلى عمل صفة تتفرد بها العقول، ألا وهي «البصيرة».

نعم، أعلم أنه: قيل لنا بأن هذا شأنٌ وراء حدود العلم. سنتناول هذا الزعم في الفصول اللاحقة. لكن بغض النظر عن رأيك النهائي في مسألة: ما الذي يجب أن تسمح به الاستنتاجات العلمية أو ما الذي يجب ألا تسمح به، وسواء كنت ستؤكد في النهاية إن كانت مجموعة الدلائل الجديدة هذه تشير إلى أعمال البصيرة، فإني أحضك على أن تفحص الدليل. ربما «قتل الفضول القطة»، لكنه فعل العجائب في المشروع العلمي.

إنّ الأمثلة العديدة الرائعة المكتشفة في السنوات الأخيرة كثيرة جدًّا بحيث تملأ الكثير من المجلدات الكبيرة. تلقي الصفحات التالية الضوء على غيض من فيض فقط. لكن هذا القسم مليء بالأعاجيب. سننظر إلى كل شيء من معدات تستخدمها الحشرات، وقوة لَكْم الجمبري (الروبيان)، إلى النباتات المفترسة، والآلة البروتينية في عين الطيور حيث تستخدم التشابُك الكُمُومي مما يسمح للطيور بأن ترى المجال المغناطيسي للأرض.

لكن سنبدأ بمثال قد يبدو عاديًّا من النظرة الأولى.

الغشاء الخلوي وقنواته:

يعود الفضل الأكبر في ازدهار بيئة كوكبنا المتنوعة إلى الطرق المتعددة التي ضُبِطَ بها كوكب الأرض ضبطًا دقيقًا ليلائم الحياة، لكن الأرض ربما تكون عدائية للحياة أيضًا، فجزيئة الأكسجين مثلًا أساسية للحياة؛ لكنها أساسية فقط لشكل الحياة الذي يمكنه أن يأخذ الأكسجين الشرير بكفاءة، وينقله إلى مكان يستطيع فيه استعماله كمصدر للطاقة، أي: شكل الحياة الذي يستفيد من جانبه الحسن، وإلا سيصبح الأكسجين أكبر عدو للحياة.

مزِّق غشاء خلية حية وعرِّضها للهواء، وسترى الضرر الكبير الذي يُحدثه الأكسجين، وكذلك الضرر الذي سيحدثه عددٌ ضخم من المواد الكيميائية الأخرى التي ستغزو الخلية المثقوبة. سيَحِيق الموت سريعًا بالتأكيد بهذه الخلية. ومن وجهة نظر هندسية، لا بد من إيجاد طريقة لحماية الخلية، وحدة الحياة الأساسية. كان الحل ذكيًّا: أحيطت الخلية بغلاف كيميائي قوي، منذ بدايتها الأولى.

كثيرًا ما يقال: إن حلًّا واحدًا يأتي دائمًا بمشكلتين إضافيتين، وغلاف الغشاء الخلوي لا يشذ عن هذه القاعدة. فغلاف بسيط يستطيع بالفعل حماية داخل الخلية من المواد الغازيّة المميتة، لكن مثل هذا الغشاء البسيط سيمنع أيضًا وصول المغذِّيات إلى داخل الخلية، وسيحجز الفضلات الخلوية في داخلها. تستطيع الجزيئات الصغيرة معتدلة الشُّحنة عبور الغشاء، لكن تعجز عن العبور الجزيئاتُ الحيوية الأكبر التي تكون مشحونة كهربائيًّا عادة. فالغلاف البسيط هو وصفة لموت سريع وأكيد للخلية، ومن أجل أن تعيش الخلايا الأولى وتتكاثر، احتاجت إلى شيء أكثر تعقيدًا. إذ لا بد من وجود قنوات انتقائية عبر هذه الأغشية الخلوية منذ بداية وجودها.

الخلايا حاليًا مجهزة بهذه البوّابات، قنوات بروتينية متخصصة تُستعمل في نقل العديد من الجزيئات الحيوية والأيُونات الأساسية. لكن كيف هُندس هذا النقل الانتقائي لكلٍّ من الجزيئات المعتدلة والأيونات المشحونة؟ تلجأ النظرية التطورية إلى تفسيره بأنه عملية تدريجية، تتم بخطوات منفردة من الطَّفَرات الصغيرة التي يصطفي منها الانتقاء الطبيعي، أو

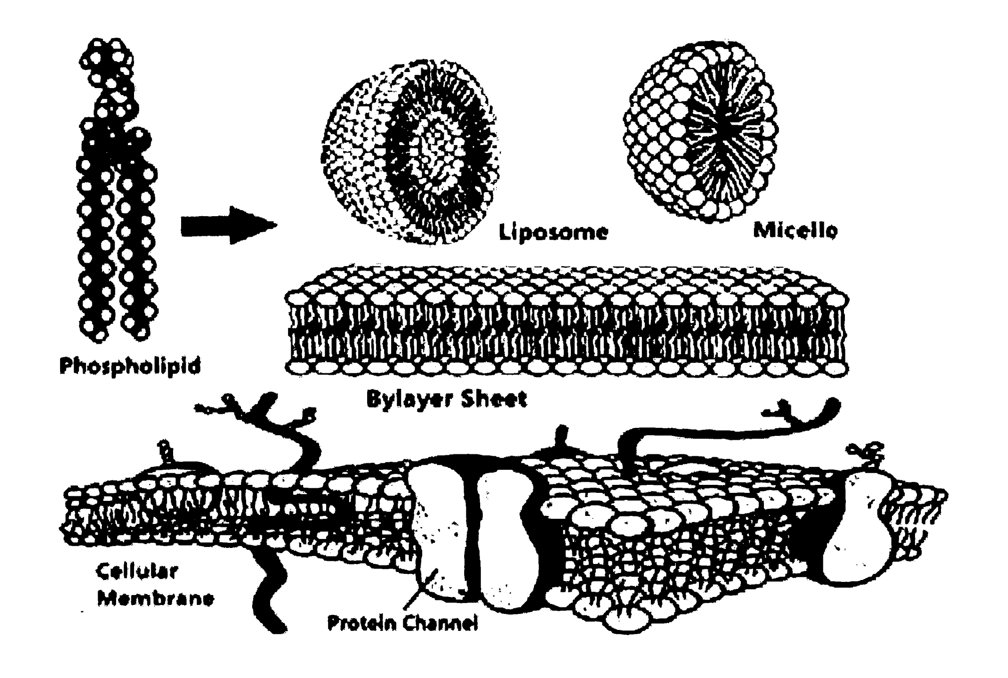
ما يشار إليه بشكل ذائع بأنه **البقاء للأصلح**. لكن لا يبدو أن عملية تطوُّرية تدريجية بخطوات منفردة على مدى أجيالٍ كثيرة قادرة على بناء هذه الروائع، بما أنه من الواضح استحالة وجود أجيال خلوية أو حتى جيل خلوي واحد قبل أن تجهز هذه القنوات وتعمل. فلا توجد حياة خلوية بدون قنوات.

السؤال الأساسي هو: كيف أمكن أن تكتسب الخلايا الأولى الأغشية الملائمة، وتُطوِّر في الوقت نفسه القنوات البروتينية للتغلب على مشكلة التحكم بالنفوذية؟

بل إنّ بعض التطوريين الملتزمين بالداروينية اعترف بالصعوبة الكبرى الكامنة هنا. كما عبّر عنها شريف منسي Sheref Mansy وزملاؤه في مجلة **نيتشر** «الوظيفة الحاجزة القوية للأغشية صعّبت فهم نشأة الحياة الخلوية»[١].

وهذه الصياغة مُلَطَّفة.

وُجدتْ بطريقة ما حاجة لهندسة غشاء خلوي مضاعف الطبقة يتصف بأنه مرنٌ وثابت ومقاوِم، غشاء يمكن أن يحمي الخلية بكفاءة وبسرعة من اختراق الأكسجين المُهلك، ويبقى ثابتًا في الوسط الحمضي المائي، ويقدر على التعامل مع تغيرات درجة الحرارة ودرجة الحموضة pH (الشكل ١ , ١). لفعل كل هذه المهام، يحتاج الغشاء الخلوي الجزيئي أيضًا إلى آليّة لتحسُّس التغيرات في درجة الحرارة ودرجة pH [٢] ويستجيب بحسبها، فيضبط التكوين الكيميائي للغِشاء للتعامل مع هذه التغيرات الفيزيائية والكيميائية.



الشكل 1.1: يحيط غِشاء مضاعَف الطبقة بخلايانا. يوصف بأنه مرنٌ جدًّا، لكنه في الوقت نفسه يتمتع بمقاومة ميكانيكية وكيميائية كبيرة. إنّ المكونات الغِشائية المتعددة المعقّدة والقدرات المطلوبة كي يحافظ على حياة الخلية؛ تجعل «البصيرة» ظاهرة جدًّا في التجميع الأول للغشاء.

فعلى سبيل المثال كما يشرح ديغو دي ميندوزا Diego de Mendoza: إن الخلايا البكتيرية «تعيد تنظيم ميوعة fluidity غشاؤها مضاعف الطبقة»، بدمج «نسبة أعلى نسبيًا من الحموض الدسمة غير المشبعة (أو حموض دسمة ذات خصائص مماثلة)، بشكل يتناسب مع نقص درجة حرارة النمو». تُسمَّى هذه العملية «التكيف متجانس اللُّزُوجة» homoviscous adaptation. بعبارة أخرى: يمكن أن يبدأ الغشاء الخلوي سلسلة من الاستجابات الخلوية التي تستجيب لتغيرٍ في درجة حرارة البيئة[٣].

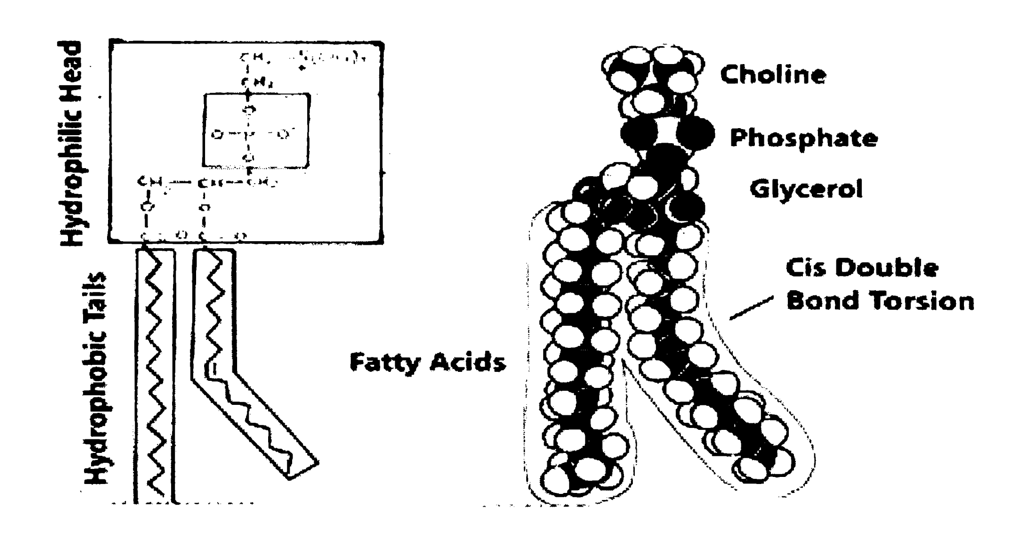
لو أننا سعينا لتحقيق هذا المطلب، وأعطينا هذا العمل متعدد الجوانب لأكثر شركات الهندسة تقدمًا تكنولوجيًّا في العالم، فإما أن يضحك أفضل المهندسين في وجهك، أو يركضون وهم يصرخون في الليل. لأن التقانة المطلوبة تتجاوز بمسافة أكثر معارف البشر

تقدمًا، وتذكَّر أنه لا يكفي تحقيق أمرين أو ثلاثة في عمل هذا الغشاء، أو حتى تحقيق ٩٩٪ من العمل. أمامنا خيار إما اكتمال صنع الغِشاء أو موت الخليَّة! وإنّ أي خلية حسّاسة تنتظر التحسينات من العملية الداروينية التدريجية ستهاجمها بسرعة أعداد هائلة من الأعداء وتموت، ولن تتكاثر أبدًا، ولا تقدم الوقت اللازم لينهي التطور عمله.

فيبدو إذًا، انطلاقًا من المعرفة الكيميائية الحيوية التي نملكها حاليًا، أنه لا بد من وجود بصيرة مسبقة بالمتطلبات العديدة الحرجة للغشاء الخلوي، وتحقيقها في الوقت الملائم كي تعيش الخلايا الأولى وتتكاثر في بيئة مائية.

وهذا ليس إلا بداية البصيرة اللازمة بوضوح لتحقيق غشاء جيد، بما يكفي للسماح بوجود واستمرار الحياة الخلوية. فمثل هذا الجدار الغشائي، بقدراته المعقَّدة العديدة، يتطلب أيضًا مجموعة متنوعة من الجزيئات الحيوية المفيدة. ولحسن الحظ فإن هذه الجزيئات مقدَّمة على شكل فئة مذهلة من الجزيئات الحيوية المصمَّمة بشكل استثنائي: إنها الفوسفوليبيدات (الشكل ٢, ١).

يجب أن تكون هذه الجزيئات الحيوية مناسبة تمامًا. لبناء غلاف كيميائي معقَّد بما يكفي للسماح للخلايا بالعيش والنمو، لا يبدو أن هناك بديلًا آخر عن الفوسفولبيدات. أصادف أحيانًا مقالات في مجلات مثل **ساينس** و **نيتشر**، تطرح نظريات عن أغشية خلوية بدائية أبسط مصنوعة من جزيئات «رديمية أولية»، مثل: الحموض الدسمة، لكن هذه الأفكار الخيالية تتجاهل تفاصيل كيميائية أساسية لما يلزم لجعل الحياة الخلوية ممكنة. وبمجرد مواجهة هذه التفاصيل، لا نجد على ما يبدو جزيئة حيوية أخرى قادرة على دعم الحياة بتحقيق الأدوار المعقدة العديدة التي تنجزها الفوسفولبيدات.



الشكل ٢ , ١. رسم تمثيلي بسيط يشير فقط إلى البنية الجزيئية المعقدة للفوسفوليبيدات

يمكن قَسْم بنية الفوسفولبيدات إلى منطقتين أساسيتين تملكان خصائص فيزيوكيميائية متعاكسة تمامًا. الرأس قُطبي وهو قسم محب للماء، في حين أن الذيل غير قُطبي وكاره للماء. هذه الثنائية في «الذوق» مهمة لأنها تسمح بحِيلة بديعة: تُنظِّم هذه الجزيئات الحيوية نفسها تلقائيًّا في وجود الماء، بحيث تشكِّل بِنَى دائريّة مضاعفة الطبقة (الشكل ١ , ١) فتصطف كل رؤوسها القطبية إلى جانب بعضها البعض وتحزم ذيولها غير القطبية المتطاولة بشكل محكم جدًّا.

ترتبط هاتان الطبقتان المفردتان بالانجذاب بالقوى الكيميائية المضبوطة ضبطًا دقيقًا، بحيث تتصل الذيول من كلتا الطبقتين مع بعضها البعض فيصطف ذيل مقابل ذيل. تضمن هذه التعبئة التلقائية ثلاثية الأبعاد ومتعددة المكونات أنَّ الذيول الكارهة للماء مخبَّأة عن الماء في حين أن الرؤوس المحبة للماء على السطحين الداخلي والخارجي مكشوفة للماء. فيوجد الماء بالتالي داخل وخارج الخلية، لكن الماء يطرد بشكلٍ مفيدٍ من داخل الأغشية الفوسفولبيدية التي تحيط الخلايا المائية.

مرة أخرى، يبدو كما لو أن قوة فاعلة ذات بصيرة قد تنبأت بهذه الحاجة وهندست حلًّا متقنًا.

الفوسفولبيدات

يحتاج الغشاء الخلوي إلى مرونة، لكن يلزمه في الوقت نفسه مقاومة ميكانيكية وكيميائية بحيث يستمر بحماية الخلية من محيطها المتغير. ولحسن حظ الحياة، فإن الطبقات المضاعفة الفوسفولبيدية تتصف بأنها مرنة وفي الوقت نفسه ثابتة جدًّا، بمقاومتها للجهد الميكانيكي، ولتغيرات درجة pH ودرجة الحرارة.

فكيف تم تحقيق كل هذه الخصائص؟ تم ذلك عن طريق توازن ديناميكي بين مختلف الخصائص الفيزيوكيميائية للعديد من المكونات الجزيئية للجدار. (إذا كان التفسير التالي تقنيا جدًّا بالنسبة لك، فلا تتردد بتخطِّيه إلى الفقرة النهائية من هذه الفقرة الفرعية. وستعطيك الخلاصة ما يكفيك لتتابع قراءة الكتاب).

تُضبط هذه الخصائص الكيميائية بشكل أساسي عبر تنظيم روابط (كربون – كربون) في الذيول اللبيدية؛ من حيث قوتها وطولها وتوجهها ثلاثي الأبعاد. يمكن أن تشكل ذرة الكربون أربعة روابط، منها روابط مع ذرات الكربون الأخرى. تكون هذه الروابط في اللبيدات مفردة C–C أو مضاعفة C=C. تدعى الروابط المفردة بالروابط «المشبعة»، وتدعى الروابط المضاعفة بالروابط «غير المشبعة». يمكن أن تكون السلاسل الجانبية (R) المرتبطة بذرتي كربون برابطة C=C؛ إما على الجانب نفسه (في ترتيب يدعى مقرون "cis": $^{R}C=C^{R}$)، أو على جانبين متعاكسين (في ترتيب يدعى مفروق "trans": $^{R}C=C_{R}$).

تحتوي الفوسفولبيدات غير المشبعة بشكل أساسي على روابط مقرونة $^{R}C=C^{R}$، تعطي انحناءات واضحة جدًّا، وبمكان ملائم في السلاسل الهدروكربونية الطويلة. الدهون غير المشبعة المقرونة أقل ثباتًا ثيرموديناميكيًا من مقابلاتها المفروقة، لكن الشكل المقرون يبقى هو الأكثر ملائمة لهذا العمل؛ لأن الانحناءات الناتجة في سلاسل الحموض الدسمة تعطي تكدسًا أقل كثافة مقارنة باللبيدات غير المشبعة المفروقة أو مقارنة باللبيدات المشبعة.

بالتالي تمتلك اللبيدات غير المشبعة المقرونة نقاط انصهار أقل من اللبيدات المشبعة أو اللبيدات غير المشبعة المفروقة. والنتيجة المذهلة هي أنه يمكن زيادة ميوعة الأغشية تدريجيًا[٥].

كما تُستعمل أيضًا سلاسل كربونية بأطوال متباينة؛ أطول أو أقصر، وكذلك رؤوس «قطبية» مختلفة لضبط الخصائص الكيميائية لهذه الجزيئات: إنها ممارسة متقنة وواضحة للبصيرة المسترشدة بخبرة كيميائية هائلة.

لاحظ أنه إذا عزونا نشأة الأغشية الحيوية إلى عمليات مادية عمياء، سنحتاج إلى اللجوء إلى مجموعة كبيرة من «المعجزات» الكيميائية. **أولًا**: لا بد من حدوث صُدفة لبناء سلاسل كربونية طويلة نسبيًّا تتألف من ١٢ إلى ١٨ ذرة كربون. وقوع هذه الصدفة أمر بعيد الاحتمال جدًّا إحصائيًّا وكيميائيًّا. **ثانيًا**: لا بد أن ترتبط سلسلتان من هذه السلاسل إلى جزيئة ثلاثية الغول، وهي الغليسيرين. ولا بد من إدخال الروابط المقرونة $^{R}C=C^{R}$ الأقل ثباتًا في مواضع محددة، وبنسبة ملائمة لإنتاج السيولة (الميوعة) الملائمة. لا بد أيضًا من توفر أيون فوسفات PO_4^- مع مجموعة قطبية أخرى (مثل: الإيثيلين ثنائي الأمين) في الوقت نفسه، وأن ترتبط بشكل ملائم بـ«الجزيئة المركبة» النهائية (الشكل ٢ , ١). أنا كشخص كيميائي لن أنظر أبدًا إلى هذا الشلال من المعجزات الكيميائية على أنه أمر مفروغ منه.

لكن المتخصصين في كيمياء ما قبل ظهور الحياة يفترضون عادةً وجود «كيانات» بدائية تحيط بها «أغشية» بدائية، باطن هذه الكيانات عدائي جدًّا للحياة، مثل: مُذَيْلَات micelles الحموض الدسمة، تمكنت من ابتلاع جزيئة «رنا (RNA)-بدائي» فأدت إلى نشوء الحياة على الأرض.

كما يرى شريف منسي وزملاؤه في مقالة **نيتشر** ٢٠٠٨م «أنّ الحموض الدسمة وإستراتها الغولية وإستراتها الغليسرولية الأحادية تعد مرشحات جذابة؛ لاعتبارها مكونات لأغشية الخلايا البدائية». وسبب هذا الأمل أنها تفعل أمرين مهمين؛ **الأول**: أنها تشكِّل أكياسًا غشائية مضاعفة الطبقة تحتفظ بجزيئات رنا (RNA) صغيرة، **والثاني**: أنها يمكن أن تنمو وتنقسم[٦]،

وهو الأمر الأساسي ليتمكن الكيان البدائي من التكاثر. ثم بدأ هذا الكيان قبل الحياة فجأة بتصنيع أولى بروتينات الحياة على ما يُفترض.

لكن إن كان هذا ما حصل فعلًا، فمن أين أتت الحموض الأمينية المطلوبة لتصنيع البروتين؟ لا بد أنها أتت من خارج «الحساء البدائي» بالطبع، وهاجرت عبر قنوات إلى داخل هذه «الخلايا البدائية». لكن حتى الآن ليس هناك أي قنوات غشائية في السيناريو المفترض، فكيف هاجرت الحموض الأمينية عبر «الغشاء البدائي» نفسه لتصل إلى داخل الخلية. لأن هذه الأغشية البدائية ستشكِّل حاجزًا كيميائيًّا منيعًا لاختراق الحموض الأمينية، ولذلك فإن أمل المؤلفين مستحيل كيميائيًّا. فإن لم يوجد سبيل إلى داخل الخلية، ستموت الخلية في وقت قصير. فلا بقاء على قيد الحياة! ولا تكاثر! ولا تطور!

إذًا نرى مرة أخرى، أن علامات البصيرة قوية. من الواضح لزوم التخطيط المسبق لغشاء خلوي فوسفولبيدي متقن، وهندسته، وتوفيره بنفس لحظة ظهور داخل الخلية على الساحة، لتجنب وجود خلية عارية ذات نهاية أكيدة وسريعة. وبما أنه من الواضح نجاة الخلايا الأولى ونموها وتكاثرها تاركة ذرية حتى الوقت الحاضر، فمن المعقول علميًّا استنتاج أن هذا الغشاء قد ظهر بوسيلة ما على الساحة منذ اللحظة الأولى لوجود الاحتياج إليه. يصر البعض على أنه ظهر نتيجة ضربة حظ أعمى. لكنني أخالفهم وأحثهم على اعتبار إمكانية ثانية ـ أن يكون نتيجة بصيرة مُهندِسة.

المسام المائية: مراشح مائية فريدة

تحمي الأغشية الليبيدية مضاعفة الطبقة الحياة وتستضيفها، لكن -كما ذُكر سابقًا- تحتاج الخلية إلى قنوات لنقل المواد الأساسية إلى الداخل والخارج. إذا تعاقدنا مع أفضل شركات تقانة النانو لهذا العمل مستعملين كل قواها في البصيرة الهندسية، فلن نحصل على نتيجة أفضل. تأتي هذه الأغشية الليبيدية مضاعفة الطبقة مع تجمُّعات بروتينية ثلاثية الأبعاد، تعمل بأناقة كقنوات انتقائية. وهذه قنوات ذكية بما يكفي لتسمح بدخول ما يلزم، وتحجز ما لا يحتاجه باطن الخلية خارجًا.

كي ينجح نموذج تطوري ما لنشأة الغشاء الخلوي، لا بد أن يأخذ بعين الاعتبار التطور المشترك co-evolution لكلٍّ من البروتينات المرافقة للغشاء، والطاقة الحيوية للغشاء، والطبقات الليبيدية المضاعفة[٧]، إنها معجزة ثلاثية مركبة. تبدأ محاولات مصارعة هذا السؤال غالبًا بالاعتراف بالحَيرة، كما كتب أ.ي.مولكيدجانيان A. Y. Mulkidjanian وزملاؤه: «ما زالت نشأة الغشاء الخلوي والبروتينات الغشائية لغزًا مبهمًا»[٨].

أحد الأشياء التي يجب أن تسمح القنوات الغشائية بمرورها هي الماء. تحتوي الأغشية الحيوية من أجل هذه المهمة الأساسية قنوات خاصة تدعى بـ«المسام المائية aquaporins». فالخلايا مدن متعددة الجزيئات سبرانية مليئة بالآلات ذات التقنية الرفيعة ومصانع الطاقة وحتى روبوتات نانوية. لكن لكي تعمل كل التقانة العالية بشكل ملائم، تحتاج إلى الشيء نفسه الذي أحتاج إليه بكميات كبيرة: الماء. فهذه الجزيئة الأساسية والمدهشة رغم بساطتها H_2O، ذات الوظائف الخلوية الكثيرة لا بد أن تستطيع الدخول والوجود داخل الخلية، حتى تتمكن الخلية من الحياة والنمو.

لكن لا بد من ضبط دخول الماء وخروجه بدقة بالغة، لكي تبقى الخلية على قيد الحياة. وتنشأ هذه الحاجة للضبط من أن جزيئات الماء مرتبطة بروابط هيدروجينية، وإنّ شبكتها الرابطة للهيدروجين تجعل الماء يعمل كـ«سلك بروتوني» ينقل البروتونات (H+) عبره، مثلما ينقل السلك الكهربائي التيار الكهربائي. لكن من أجل أسباب استقلابية لا بد أن تحافظ الخلايا على الشحنة السالبة في داخلها. وتحقق الخلايا ذلك بقنوات غشائية خاصة تتحكم بنقل أيونات الصوديوم (Na^+) والبوتاسيوم (K^+). لكن إن أدخلت المسامُّ المائية الماءَ بحرية، فإن «الأسلاك البروتونية» ستسمح لأيونات الهيدروجين (H^+) المشحونة إيجابيًّا بالتغلب على جهود الخلية للحفاظ على الشحنة الكهربائية السالبة. وهكذا فقناة الماء البسيطة لن تكون كافية.

إن هذا التحدي الهندسي ليس تحديًا سهل الحل، حتى إن كنت تتصور مهندسًا ذا قوى من خارج هذا العالم. إذا غيّر هذا المهندس الخصائص الجوهرية لجزيئة H_2O لإزالة قدرتها

الموصلة للبروتونات؛ فإن هذا سيخرِّب العديد من خصائص H_2O الأخرى الأساسية والفريدة للحياة. لكن لحسن الحظ، تم إيجاد حل عبقري لا يتطلب إعادة هندسة الماء.

تقوم المسام المائية[9] في الأغشية الخلوية بأكثر من مجرد نقل الماء إلى داخل وخارج الخلية، فمن وظائفها أن تحجز الملوثات، مثل: الأيونات غير المرغوبة والجزيئات الحيوية الضارة الأخرى، وكذلك تحجز أيونات الهيدروجين (H^+) المشحونة إيجابيًّا خارج الخلية، تلك الأيونات التي تنتقل بحرية عادةً عبر أسلاك الماء البروتونية.

فكيف تم تحقيق هذه المهمة المعقدة؟[10] لنلقِ نظرة ونرى.

(إذا كان الكلام التالي تقنيًّا أكثر من اللازم بالنسبة لك، فلا تتردد في تخطِّيه إلى العنوان الفرعي التالي حيث سألخص النقاش).

يوجد عند بوابات المسام المائية، حمض أميني خاص يُعرف بالأسبارجين asparagine في موضع دقيق عند نقطة تسمح بمرور جزيئة منفردة من الماء H_2O[11]. الأسبارجين أحد أفراد مجموعة مدهشة من الحموض الأمينية المهمة لبناء وتشكيل بِنى البروتينات، يمتلك أيضًا مجموعة جانبية قادرة على تشكيل رابطتين هيدروجينيتين مع جزيئات H_2O، موجهتين مكانيًّا، وقويتين جدًّا. وله ارتصاف مثالي ثلاثي الأبعاد في القناة المائية، بحيث يتعامد مع مرور سلك البروتونات H_2O، حيث يعمل مثل «كمّاشة جزيئية» حقيقية لقطع سلك الماء H_2O.

وإليكم وصفًا لكيفية عمله. في الوقت نفسه الذي تمر به جزيئة H_2O عبر الثقب الفلتر، يفتل الأسبارجين جزيئة H_2O. وتكسر هذه المناورة المتقنة تمامًا شبكة الروابط الهيدروجينية المائية مدفوعة بالروابط الهيدروجينية الأقوى، وبالتالي تقطع سلك البروتونات H^+. وعند انقطاع سلك H^+، تدخل جزيئة H_2O بحرية إلى الخلية في حين يطرد صديقه البروتون H^+ غير المدعوّ عند الباب. فهذا توقُّع مُسبق لمشكلة حياة أو موت أخرى ثم معالجتها.

قوة المسام المائية

إنّ المسام المائية إذًا حل عبقري لمشكلة هندسية شائكة جدًّا. لكن من خبرتنا المنتظمة والمتكررة، فإنّ العباقرة هم من يحققون الحلول الهندسية البديعة؛ عقول تطبق الخبرة

والبصيرة لمعالجة مشكلة لا يمكن حلها حتى من قِبل مهندسين آخرين، دع عنك القوى الطبيعية عديمة العقل.

إذًا هل كان الحل العبقري لمشكلة سلك البروتونات في الغشاء الخلوي عمل حظ أعمى أم «بصيرة» عبقرية؟ إن اكتشاف هذه العبقرية الجزيئية المعجزة استحق الحصول على جائزة نوبل في الكيمياء عام ٢٠٠٣م، «من أجل اكتشاف قنوات الماء» و«من أجل الدراسات البنيوية والميكانيكية للقنوات الأيونية»[١٢]. لكن إذا كان ذكاء من مستوى حاصلين على جوائز نوبل مطلوبًا لإيجاد كيفية عمل معجزة هندسية موجودة، فما هو اللازم لاختراعها بدايةً؟

يتضمن التفسير السائد في علم بيولوجيا النشأة شكلًا من آلية التغيرات العشوائية/ الانتقاء الطبيعي، والتي يُقال: إن الطبيعة تسلقت بواسطتها جبل اللااحتمال[١٣]، الذي نجده في البيولوجيا، بخطوات طفرية صغيرة في كل مرة. نعم توجد إضافات وتعديلات على هذه الآلية الأساسية في النظرية التطوُّرية المعاصرة، لكن لها عوائق كبيرة (انظر الفصل الأخير). وإذا نقّبت كفاية ستجد نسخة من آلية الصدفة/ الانتقاء تلعب دورًا أساسيًّا في كل نموذج رائد في علم بيولوجيا النشأة. والمشكلة تكمن في أن الانتقاء الطبيعي يمكنه العمل فقط عند وجود خلية تستطيع الحياة والتكاثر ذاتيًّا، ويمكن أن يتقدم الانتقاء فقط إذا أمكن الحفاظ على كل مرحلة بناء تطوُّرية مقترحة بشكل ما، ثم تمريرها إلى المرحلة التالية. لكن لا يمكن المحافظة على أي شيء وتمريره إذا ماتت الخلايا البدائية الأولى موتًا سريعًا نتيجة فقدان الغشاء الخلوي الفعال، القادر على تحقيق العديد من المهام الأساسية المذكورة سابقًا (وهي جزء فقط من مهام كثيرة أخرى).

فدون وجود غشاء خلوي متعدد المهام، لن توجد حياة. ودون حياة، لن يوجد تطور تدريجي بالتغيرات العشوائية والانتقاء الطبيعي. إنَّ غشاء بدائيًا مفترضًا ذو مسام مائية تطورت جزئيًّا بحيث تسمح بمرور الماء ولكنها تعجز عن حجز البروتونات H^+ خارج الخلية لقصور في تطورها سيكون غشاء فاقدًا لأي فرصة بالبقاء. ستموت بسريعًا مثل هذه الخلية

المحاطة بالأعداء الكثر في محيط بدائي أو في «البركة الدافئة الصغيرة». فلا بقاء على قيد الحياة، ولن يوجد تكاثر.

بوابات الماء H_2O التي تعمل بشكل كامل (فلا تسمح بمرور H^+) هي شيء «لا بد منه» لأي نوع من الخلايا، من أكثرها تعقيدًا إلى أكثرها «رديمية rudimentary»، هذا إن وجدت أي خلايا بدائية كهذه أبدًا على وجه الأرض. لا بد من وجود هذه البوابات الانتقائية جدًّا والمهندَسة بإتقان منذ البداية. فدون تأمين دخول ماء خالٍ من البروتون H^+، لن توجد حياة.

وتذكر أن تحدي سلك البروتونات ليس إلا مشكلة واحدة من المشاكل التي تحتاج إلى حل. وأن وجود بوابة ماء متطورة جزئيًّا فقط، فتكون ذات مسام صغيرة جدًّا أو مسام كبيرة جدًّا، إما أنها ستمنع الماء كله من الدخول أو ستسمح بدخول جزيئات ملوثة أخرى للخلية وتدمرها. وهكذا إما أن يتم توقع الاحتياج المستقبلي لهذه البوابات المائية المتقنة تمامًا، ثم تُهندس بشكل ما لإيصالها في الوقت الملائم تمامًا، أو ستذهب خطة البدء الكبيرة لما يدعى بالحياة سريعًا في مهبّ الرياح.

وما ينطبق على البوابات المائية ينطبق على العديد من الجوانب الأخرى للغشاء الخلوي. إذا اتبعنا الدليل فقط، فستبدو هذه المعجزة الهندسية المعقَّدة، متعددة الوجوه، بعيدة كثيرًا عن منال آلية التغيرات العشوائية/ الانتقاء الطبيعي. وتظهر ضرورة وجود نمط آخر من المسببات، مسبب يستطيع أن يتبصر مسبقًا، ثم يهندس الغشاء الخلوي بكل تعقيده المعجِز، لإيصاله للخلية في الوقت الملائم.

وبالفعل فإن الحلول متعددة الأوجه من هذا النوع، أي: الحلول التي تتوقع المشاكل، وإلا فإن هذه المشاكل ستُوقف أي نماء تطوري محتمل في مساره، هي حلول ظاهرة جليّة في أرجاء الحياة. وسنرى في الفصول التالية العديدَ من الأمثلة الفريدة.

الفصل الثاني
استبصار عالِم للكيمياء الحيوية

ما زلت أتذكر تمامًا أول مرة رأيتُ فيها المحيط، كان ذلك في الستينيات من القرن العشرين خلال إجازة الصيف، ولأنها كانت فترة الترفيه عن النفس، اصطحب والدي عائلتنا المكوَّنة من ستة أشخاص لنستقلّ شاحنتنا العائلية من طراز (فوكس فاغن)، ونتوجه إلى مدينة سانتوس على ساحل البرازيل، المدينة التي اعتاد لاعب الكرة المشهور **(بيليه)** لعب كرة القدم فيها. أخبرنا والدَيَّ الكثيرَ عن المحيط فزاد ذلك من لهفتنا أنا وأخي وأختاي، وزاد من إلحاحنا في السؤال ونحن جلوسٌ في المقعد الخلفيّ للسيارة؛ «كم بقي من الوقت حتى نصل؟» إلى أن سمعنا أخيرًا صوت الأمواج، وشَعَرنا بالنَّسيم المالح يتسلل من النوافذ المفتوحة.

ورغم أننا لم نكن قد بلغنا وجهتنا بعد، ركَن والدي السيارة في منطقة قريبة من الشاطئ مدركًا شوقنا إلى مشاهدة المحيط لأول مرة.



الشكل 2.1 في تجربتي الأولى بالذهاب إلى المحيط عندما كنت صبيًّا، أذهلتني العجائب التي رأيتها من حولي. وأتذكر كيف كنت أسأل نفسي: من فعل كل هذا؟

لن أنسى ذلك الشعور مطلقًا: رائحة البحر، وزرقة السماء واخضرار الماء، والرمل الحُبيبيّ تحت قدميّ، ودفء الشمس على جلدي، والماء الذي بلل قدميّ.

لقد كنت في تلك اللحظة مدركًا تمامًا لعجائب الأرض. ولكن عجائب الأرض ترافقنا في أيامنا جميعها، وكل ما في الأمر أن أعيننا قد اعتادت على رؤيتها. فكوكبنا يحفل بالمعجزات بدءًا من الغلاف الجويّ الشفاف، وصولًا إلى قوس قزح الملوّن، والشفق القطبيّ، والليالي المرصّعة بالنجوم، والطيور، واليعاسيب، والحيتان، ومشهد شروق الشمس، والنحل الطنّان، وأنواع الورود كبيرها وصغيرها.

عادة لا تُنسى المرات الأولى التي يرى فيها طفلٌ فتيّ بعض مشاهد عجائب الطبيعة، ولكننا عندما نكبر ننسى أحيانًا متابعة التفكّر، ننسى أن نستمر في رؤية عالَم مليء بالروائح والأنسجة والألوان والأصوات، وننسى أن نستمر في إعطاء الأشياء الرائعة من حولنا حقَّها.

ولقد ساعدني العِلمُ في المحافظة على الإحساس بالروعة حتى سن الرُّشد، الإحساس بالروعة الصرفة والامتنان.

رأينا في الفصل السابق كيف هُندست الخلية بعناية بحيث يكون لها جدار شحمي ثنائي الطبقة وتمتلك قنوات انتقائية. إن هذه المكونات جوهرية منذ البداية، ولن تمتلك خليةٌ فرصة لتكون صالحة للحياة إنْ كانت تحاول بخطى عابثة أن تضبط أمورها بالطفرات على مدى آلاف الأجيال وهي تبحث عن غشاء وظيفيّ. فإما أن تُقَدَّر الغشاء مسبقًا أو ستموت. وكما سنرى في بقية الكتاب، فإن هذه الحاجة إلى الرؤية الاستشرافية تنطبق أيضًا على العديد من الأنظمة والسمات في جميع أرجاء الحياة، من أبسط خلية إلى وظيفة الجسم البشري. إن الدليل على «البصيرة» وافر، ويظهر تقريبًا أنى أجلت ناظريك في علم الأحياء.

ونزيدك أمرًا آخرَ: تعتمد كل هذه العجائب على مستوى أعمق من البصيرة. أظهر العلم أن كوكب الأرض والكون يكشفان طبقة وراء أخرى من المعالم الأساسية للحياة. إنه اكتشاف عجيب وهو موضوع فصلنا هذا.

الضبط الدقيق والبصيرة

يُعتقد في الوقت الراهن، بوجود ستة عشر من الثوابت الفيزيائية في الكون على الأقل، لا بدّ أن تكون قيمها مضبوطة بدقة لتسمح بوجود الحياة. وهذه الثوابت كسرعة الضوء (c)، وثابتة الجاذبية (G)، وثابتة بلانك (h). تتلاءم جميع قيمها على نحو فريد بحيث تسمح (وإن كانت لا تسبب بالضرورة) بالظهور الرائع للكيمياء الحيوية، وهو ما نستكشفه في هذا الكتاب، والذي يندرج تحت فكرة يسميها العلماء «الضبط الدقيق fine tuning».

عادةً ما يُشرح هذا الضبط الدقيق بتشبيهه بمفتاح ترددات المذياع، الذي يجب أن يُوضع تمامًا على التردد الصحيح -«يُضبط»- لإيجاد المحطة المرغوبة. لو كان الكون مذياعًا، والتردد المرغوب هو الذي يسمح بوجود الحياة، لكان لديه عشرات من مفاتيح التوليف لضبط قيم الثوابت الكونية[1]. ولو أنك أخطأت بواحدة فقط من إعدادات هذا المفتاح، وإن بدرجة طفيفة عندما ضُبط الكون للمرة الأولى، ستحصل على كون دون حياة على الإطلاق. على سبيل المثال، لو كانت قوة الجاذبية أقوى قليلًا عمّا هي عليه في الحقيقة لاحترقت النجوم بسرعة بحيث لا تؤدي وظيفتها كمزوّد ثابت للطاقة من أجل الحياة، ولو كانت قوة

الجاذبية أضعف قليلًا لأصبحت النجوم والكواكب سريعًا بوضع غير مستقر، أو لما تكوّنت من الأساس[٢]. إذًا فقد ضُبطت قوانين وثوابت الفيزياء أساسًا بحيث تدعم الحياة.

عند دراسة بعض الثوابت ذات الضبط الدقيق، والمُكتشفة في ثمانينيات القرن العشرين (وقد اكتُشِف بعد ذلك ثوابت عديدة أخرى)، أشار العالِم الفيزيائي فريد هويل Fred Hoyle إلى أن هذه الثوابت مضبوطة بعناية فائقة تناسب الحياة؛ بحيث بدت بأنها «قد جهزت عن قصد a fix»، أي: قد خُطط لها مسبقًا. وقد كان ذلك مؤثرًا بالنسبة لهويل وقال مستنتجًا: «يشير تفسير الفطرة السليمة للحقائق بأن فكرًا ألمعيًّا قد أحكم وضع الفيزياء وكذلك الكيمياء وعلم الأحياء، ولا توجد قِوى عمياء في الطبيعة تستحقّ أن نتحدث عنها»[٣].

لاحِظْ أن هويل لم يكن رجلًا متديّنًا، بل كان ملحدًا. لقد أدرك ببساطة ما أدركه كثيرون غيره، بمن فيهم بعض علماء الفيزياء وعلماء الفلك المرموقين في العالم: يعطي الضبط الدقيق للكون بعض الأدلة الدامغة على وجود الذكاء المُصمِّم وراء هذا الكون.

يأمل الباحثون النظريون أن يجدوا نظرية مُوحَّدة لكل شيء، ويتمنى بعضهم أن يتجنبوا بذلك انطباع التصميم، آملين بأن اكتشافًا مثل هذا سوف يقلّص من عدد هذه الثوابت الأساسية. لكن إن وُجدت هذه النظرية الموحَّدة فإن هذه «الثوابت الفائقة -super constants» المُكتَشفة، رغم قلة عددها، ستكون مضبوطة بدقة قولًا واحدًا، إلى درجة حتى أكثر إذهالًا من الثوابت التي اختصروها.

لكن الميل الحالي حتى الآن يسير في الاتجاه المعاكس. كلما عرف العلماء المزيد عن الكون اكتشفوا المزيد من الثوابت دقيقة الضبط في كون يدعم الحياة. فلنلقِ نظرةً الآن على القليل منها فقط.

الماء: الوسط الكيميائي المثالي

إن **كوكبنا الأرض** مناسب لاحتضان الحياة على نحو مثالي من وجوه كثيرة، منها: دورانه المؤقت ببراعة في أربع وعشرين ساعة، وقمره الكبير المُوازِن، ووقوعه في موقع صالح للحياة ضمن مجرة درب التبانة، وبُعدِه المثالي عن نجم محدد، وجيرانه الطيبون من الكواكب

الغازية الضخمة التي تحميه من العديد من المخاطر الفضائية، إن كوكب الأرض ملائم للحياة على نحو يثير الفضول.

ولكن وعلى الرغم من جميع هذه الشروط، فإن كوكب الأرض ما كان ليصلح لاستضافة الحياة إن افتقر لخصائص محددة تسمح بوجود الكيمياء الحيوية. على سبيل المثال، لو كانت قشرة الأرض الصلبة صحراءً تتلهّب حرًّا خلال النهار وتتجمد أثناء الليل؛ لو كان الوضع هكذا، فلن يجدي نفعًا أي ضبط دقيق للمسافة، أو الخصائص الفيزيائية/ الكيميائية، أو فترة الدوران. لحسن الحظ، فإن جزيئة عجيبة تمتلك عشرات الخصائص الفريدة قد زوّدت الأرض بالحل المثالي الذي توقع مسبقًا هذه الحاجة: إنه الماء.

إنَّ الماء النقي عديم اللون والرائحة يعتبر بالنسبة لمعظمنا أمرًا مسلمًا به، ولكنه في الحقيقة معجزة كيميائية عظيمة. يلزم لوجوده عدد لا يحصى من الخصائص والقيم الفيزيائية والكيميائية الصحيحة تمامًا لتشكّل الماء المتاح بخصائصه العديدة النادرة والأساسية للحياة.

لحسن الحظ أيضًا: رغم ندرة وجود الماء السائل للغاية في أماكن أخرى من نظامنا الشمسي إلا أن سطح كوكب الأرض يمتلك مقدارًا مهمًّا من اليابسة والماء السائل على سطحه، ولنكون أكثر تحديدًا: يمتلك نسبة ٢ : ١ (اثنان إلى واحد) ماء إلى يابسة[٤]. وإنَّ هذه ضربة حظ موفقة لأن الماء السائل أمر حاسم للحياة، وهو السائل الوحيد في مجال ضيق نسبيًّا من درجات الحرارة والضغط. إن هذا المجال ضيق على نحو لا يصدق مقارنةً بالمجالات الواسعة للحرارة والضغط الموجودة في الكون، ومع ذلك فإنها بالضبط الدرجات الموجودة على كوكب الأرض.

إن النظام الشمسي وما بعده «مغمور بالماء» حقًّا[٥]، ولكن ماء بشكله الصلب أو الغازي على نحو رئيسي، وهذا لا ينفع الحياة تمامًا. إلا أننا نحظى بالماء على كوكب الأرض بحالاته الثلاث، ونحن بحاجة لهذه الحالات الثلاث جميعها من أجل ازدهار الحياة هنا. إن

لم تكن هذه الحاجة قد جُهزت مسبقًا، وإن كان كوكب الأرض على نمط الكواكب الأخرى في مجرّتنا، لاستحال وجود الحياة هنا مطلقًا.

إن مجموعة السمات الكيميائية المتنوعة للماء تخل العديد من المشاكل التي إن وُجدت ستشكِّل نهايات مسدودة للحياة. إنّ حرارة الماء النوعية specific heat المرتفعة تعدّل تغيرات درجة الحرارة ما بين الليل والنهار؛ بحيث توازن الحرارة عن طريق امتصاص الحرارة خلال النهار ثم تحريرها في الليل. وإن المقدار الكبير من الحرارة المطلوب لتبخّر الماء يساعدنا أيضًا على أن نشعر بالبرودة في أيام الصيف الحارّة من خلال التبريد التبخّري عن طريق جلدنا المكشوف.

لا يعدّ وجود الماء أمرًا حاسمًا بالنسبة لسطح الأرض والغلاف الجوّيّ فحسب، ولكنه حاسمٌ أيضًا بالنسبة للكيمياء الحيوية في أجسامنا. فالماء مهم جدًا لأداء الوظائف البشرية؛ بحيث إننا سنموت خلال بضعة أيام إن فقدناه، وذلك ما يفسّر نسبة الماء التي تقارب ثلثي وزن أجسامنا، يعود سر أداء الماء لهذا الدور الحاسم إلى خواصه الفريدة. فلنضرب مثالًا واحدًا: إن الماء موصِّل ضعيف للحرارة نسبيًّا، وتقي هذه الصفة الشاذّة المتعضيات من الغليان أو التجمد بسهولة.

تسمح بعض صفات الماء الفريدة الأخرى باختراقه لجدران الخلية، وتسمح له أن يصعد بوساطة الخاصية الشعريّة القويّة إلى أعالي الأشجار، حتى تلك فارعة الطول منها، وأن يتبخر من سطح أوراق الأشجار حسب الحاجة، مما يسمح للنباتات أن تنقل المغذّيات، وأن تؤدي عددًا لا يُحصى من العمليات الكيميائية الحيوية بنجاح.

يبدو أن أساسات هذه الخصائص، والكثير من الخصائص الأخرى الأساسية للحياة التي يمتلكها الماء، قد وُضِعت قبل ظهور الماء في الكون. وتتضمن هذه الخصائص:

- الكتلة والشحنات الكهربائية الدقيقة لكل من النيترونات والبروتونات والإلكترونات التي تشكّل ذراته من الهيدروجين والأكسجين.

- المتانة المُحكَمة للقوى النووية التي توازن البروتونات والنيترونات وتُمسكها سويةً في النواة.
- المتانة المُحكمة للقوى الإلكترو-مغناطيسية.
- القواعد الكيميائية وقوانين الفيزياء الكمّية التي تشكِّل مدارات الماء الجزيئية الرابطة وغير الرابطة، والتي تمسك أزواجًا من الإلكترونات الأصلية لكل من الهيدروجين H والأكسجين O في مستويات محددة من الطاقة في جزيئة H_2O.
- مبدأ باولي للاستبعاد Pauli Exclusion Principle الذي يحدّ عدد الإلكترونات في كل من هذه المدارات الجزيئية فيقصرها على إلكترونين اثنين.
- متانة قوى التنافر للأزواج المرتبطة وغير المرتبطة للإلكترونات التي تحيط ذرة الأكسجين المِركزية، وهي متانة تُحددها سلسلة من الثوابت الكونية التي تضبط بشكل مباشر وغير مباشر سلوك مثل هذه الذرات، وتضبط الزاوية الدقيقة لتشكيلة H-O-H.

وقد تطول القائمة، ويجب أن تكون هذه الخصائص والقيم العديدة متوازنة بدقة - مسبقًا- لكي تشكل عشرات السمات النادرة والفاتنة للماء، والتي تجعل الحياة على الأرض ممكنة، وتبدو وكأنها قد خُطط لها مسبقًا.

إن خصائص الماء غريبة للغاية لدرجة أن مقالة في مجلة **نيتشر** Nature المعتبرة قد أشارت إلى أنه يمتلك نوعًا من «الذاكرة»[٧]، التي من الممكن أن تُرقمن، وتنقل، ويُعاد إدخالها إلى عينة أخرى من الماء. رغم أن الماء قد لا يمتلك «ذاكرة» **بحد ذاتها،** إلا أنه يبدو بأن شيئًا أو شخصًا يستطيع التذكر والتبصّر قد أوجد هذا الماء.

الماء باعتباره مُحلًّا خارقًا

من الصفات الكيميائية الأخرى المدهشة للماء والتي تجعله ضروريًّا جدًّا للحياة على كوكب الأرض، هي قدرته على حلّ العديد من المواد المختلفة للغاية، ونقل جميع أنواع المغذيات ومخلفات الإنتاج ضمن خلايا النباتات والحيوانات، ونقلها إلى داخلها وخارجها أيضًا.

إنّ الماء مركب قطبيّ، ويعني ذلك بأن كثافة إلكتروناته ليست موزَّعة على نحو موحَّد حول الجزيئة، فهو فقير بالإلكترون على أحد الجهات (إيجابي)، وغني بالإلكترون على الجهة الأخرى (سلبي)، تساعده هذه القطبية بالإضافة إلى كلٍّ من حجم جزيئة الماء وقابلية تشكيل روابط هيدروجينية على إذابة الأحماض الأمينية، وبعض الببتيدات، والهرمونات، والبروتينات الكروية، والعديد من الجزيئات الحيوية الأخرى بالإضافة إلى الأملاح اللاعضوية. ورغم أن الماء لا يذيب جميع المواد (وهذا من حسن الحظ -انظر في الأسفل)، إلا أنه يذيب موادَ أكثر من أي سائل آخر، وذلك ما يعطيه في بعض الأحيان مُسمّى «المُحِّل الشامل».

عندما ننظر إلى التركيب الذرّيّ للماء نرى مستوى حاسمًا آخر من الجمال والتعقيد والضبط الكيميائي الدقيق. تترتب الذرات الثلاث لجزيئة الماء بنمط زاوي قدره (104.5°) وتمتلك كل من ذرتيّ H وO كهرسلبية متمايزة، ويعطي اجتماع هذه الصفات معًا صفةً قطبيةً

للغاية لجزيئة الماء، وكثافةً إلكترونيةً غير متناظرة، وهذا ما يجعل الماء رائعًا في إذابة الأيونات، ونقل هذه الأيونات المُمَحفظة في أرجاء الخلايا والجسم البشري.

وفي الوقت ذاته، لا يبالغ الماء في امتداد قدرته على إذابة الأشياء، فمن حسن حظ الحياة أن الجزيئات الحيوية الكبيرة مثل الحموض الدسمة والبروتينات الكبيرة التي تشكِّل بنية أجسامنا غير ذوّابة في الماء. إنه أمرٌ رائع، تسمح لنا خاصية عدم الذوبان هذه أن «نغني تحت المطر» وأن نسبح ونستحم ونحتسي الشاي الساخن وعصير الليمون البارد، دون أن نتآكل بفعل قدرة الماء شبه الشاملة على الإذابة. إن ثلثي أجسامنا تقريبًا مكوَّنة من الماء، في حال اكتسب الماء فجأةً القدرة على إذابة هذه الجزيئات الحيوية الكبيرة فسوف نذوب كما ذابت الساحرة الشريرة في نهاية قصة **ساحرة أوز** The Wizard of Oz.

وبدلًا من أن يذيب الماء البروتينات يساعدها على التطوّي fold، ويكون هذا التطوّي بمعونة عزم ثنائي القطب dipole moment القوي للماء. يتكوّن عزم ثنائي القطب عندما تتشارك ذرات جزيئة ما الإلكترونات على نحو غير متساوٍ، يصنع عزم ثنائي القطب الفريد للماء روابطَه الهيدروجينية، في حين تضبط زاوية H–O–H المُحددة ذات الـ104.5° درجة قطبيته، مما يسمح لجزيئة الماء H_2O بأن تصنع روابط هيدروجينية قوية مع البروتينات. يُمكّن هذا السحب الكيميائي البروتينات الوليدة أن تنطوي كما ينبغي، لتأخذ أشكالًا وظيفية محددة وثلاثية الأبعاد 3–D وهذه أشكال ضرورية لفعاليتها الحيوية.

أعجوبة الجليد الطافي

تبعًا لقوانين الفيزياء، تكون الحالة الصلبة لمادة ما، أكثر كثافةً من حالتها السائلة، وهذا أمر مطَّرد تقريبًا على الدوام. ولكن يوجد رغم ذلك استثناء بارز لهذه القاعدة: ألا وهو الماء. يصل الماء إلى كثافته العُظمى في درجة حرارة ٣٩° فهرنهايت (٤° مئوية) ويصبح عمليًّا أقل كثافة عندما يتجمد. تسمح هذه السِّمة الشاذة للماء أن يتجول بين السطح والقاع، ويجدد حياة الكتل المائية على كوكب الأرض، فينقل الغازات السامة إلى السطح، وينقل الأكسجين إلى القاع.

تأمّلْ الحالة البديلة، إن لم يطفُ الجليد، أي: إن كان أكثر كثافةً من شكله السائل -كما هو الحال مع الغالبية العظمى من السوائل- سوف تتجمد البحيرات في المناخات الأكثر برودة متصلبةً من القاع وحتى الأعلى وتقضي على حياة البحيرة. سوف تتجمد المحيطات أيضًا وسيشمل التجمد أكثر من القطبين المتجمدين حاليًا، فتتجمد قيعان المحيطات، وسوف يمتدّ التجمّد أبعد كثيرًا شمالًا وجنوبًا انطلاقًا من القطبين: إنه وضعٌ مهلكٌ للحياة البحرية[٨].

عوضًا عن ذلك، يتمدد الجليد عندما يتجمد، فيطفو على السطح ويحفظ الحياة. تُصان الحياة إذًا لأن الماء يحب أن يخرق القوانين. إن الجليدَ أخفُّ (أقل كثافة) من الماء السائل، وهو عازل حراري جيد على نحو مدهش. يشكل اجتماع هاتين الصفتين غطاءً جليديًّا عازلًا يقي البحيرات من التجمّد وصولًا إلى قاعها، مما يسمح للحيوانات بإكمال حياتها تحت الجليد. إنه حل جنونيّ لمشكلة متأصّلة، ولكنه حل بديعٌ أيضًا. في حال لم يملك الماء هذه الصفة الشاذة، فستكون الحياة في مأزق حقيقي.

ولنتأمل سيناريو آخر مخالفًا للواقع، افترضْ أن الماء يستطيع أن يبقى بحالة سائلة بدرجة أدنى بكثير من ٣٢° فهرنهايت، ولا يتجمد مطلقًا ضمن نطاق درجات حرارة بيئة كوكب الأرض. حينها، سوف يخسر الماء معظم خصائصه الزخرفية؛ فلا ثلج بعد الآن، ولا أشكال مائية بلورية متعددة، ولا أحلام بالثلج الأبيض، ولا تزلج في أوقات الشتاء، ولا أنهار جليدية مهيبة. يا للخسارة!

ولكن لندرك درجة فرادة الماء حقًّا علينا أن نستقصيه على المستوى الجزيئي. إن الوزن الجزيئي للماء (MW) هو ١٨ دالتون (Da)، والوزن الجزيئي للميثان (CH_4) قريب منه للغاية وهو ١٦ دالتون (أقل بـ ٢ دالتون فقط)، ولكن الماء H_2O يمتلك درجة ذوبان ودرجة غليان مرتفعتين على نحو ملحوظ (٣٢° فهرنهايت و٢١٢° على التوالي) مقارنةً مع الميثان (-٢٩٦,٥° فهرنهايت و-٢٥٨,٩° فهرنهايت). يمتلك H_2O أيضًا نطاقًا واسعًا من درجات الحرارة (تمتد ١٨٠° فهرنهايت) يستطيع ضمنها أن يبقى سائلًا، مقارنةً بالميثان والذي يمتلك «نافذة الحالة السائلة» بمقدار ٣٧,٦° فهرنهايت فقط.

إن الطاقة اللازمة لكي يتبخر الماء السائل تفوق أيضًا أربعة أضعاف الطاقة اللازمة لتبخر الميثان. يتطلب الثلج أيضًا طاقة كبيرة لكي يذوب ويسخن ومن ثمّ يتبخر، مما يسمح للمحيطات أن تخزّن كميات كبيرة من الحرارة. وهذا جزء كبير من سبب اعتدال الطقس في الكثير من المدن الساحلية. تميل الرطوبة في الماء وفي الهواء لأن تخفف من تقلبات درجات

الحرارة[9]. وعلى العكس تميل الصحاري، والتي تفتقر إلى الرطوبة بالطبع، لأن تشهد تقلبات كبيرة في درجات الحرارة.

لقد تحدثنا النزر اليسير عن صفات الماء الشاذة صديقة البيئة، وبغض النظر عن كل شيء، فإن إحدى أكثر سمات الماء المدهشة هي بساطته الكيميائية، إن الماء جزيئة أنيقة على نحو عجيب: H-O-H، أي ذرتان هيدروجين فقط من أصغر الذرات، H^1، مرتبطتان بذرة أوكسجين O^{16} مفردة وخفيفة نسبيًّا. كيف يمكن لهذه الجزيئة البسيطة أن توجد، وتقوم بالكثير من الحِيَل السحرية، وتمتلك العديد من الخصائص الغريبة؟ إن بساطة الماء هي حجة أيضًا لصالح التصميم والبصيرة. كثيرًا ما يُقال: (إن توظيف أشياء بسيطة لتحقيق نتائج معقّدة هي علامة نبوغ). وكما قالت الروائية الفرنسية جورج ساند George Sand: «إن البساطة هي أصعب ما تقتنيه في هذا العالم... إنها آخر جهود العبقريّ»[10]. تحلّ جزيئة H_2O المتواضعة مشاكل معقدة متعددة تتعلق بالحياة على الأرض وذلك ببساطة رائعة.

الغلاف الجوي المثالي

إن غلافنا الجوي أيضًا مدهش وضروري. فعلى سبيل المثال لا الحصر؛ يحمينا من قذائف الفضاء، ويرشّح الأشعة الخطرة الآتية من الشمس بينما يسمح للضرورية منها بالمرور، كما أنه يعدّل درجة حرارة الأرض.

يتكون غلافنا الجوّيّ من الغازات المناسبة تمامًا، وبنسب ملائمة بدقة، تدعم وجود الحياة على الأرض: ٢١٪ أكسجين (O_2)، و٧٨٪ نيتروجين (N_2)، والقليل من الآرغون (Ar)، وثنائي أكسيد الكربون (CO_2)، وبخار الماء (H_2O).

إن هذه الغازات غير قابلة للتفاعل مع بعضها البعض، وهذا عامل حاسم للاستتباب الطويل الأمد.

نعلم بأن O_2 هو ما نحتاجه لكي نتنفس وننتج الطاقة في أجسامنا، إذًا ما الذي يجعل كل هذه الغازات الأخرى ضرورية؟ إن غلافًا جويًّا يحوي الأكسجين O_2 بشكل صرف سوف يكون كارثيًّا بالنسبة للحياة على الأرض، إذ سيتعذر وجود النباتات لأنها تحتاج ثاني أكسيد

الكربون، كما ستحتدم الحرائق الهائلة بطريقة يتعذر كبحها، بل إن الكائنات التي تتنفس الأكسجين، ومن بينها الحيوانات، سوف تعاني من زيادة نسبة الأكسجين. لأن النيتروجين (N_2) وهو غاز مستقر وغير متفاعل يقوم بتمديد الأكسجين O_2 ليكون بنسبة ملائمة للحياة.

يحتوي الغلاف الجوي أيضًا آثارًا من غازات أخرى مثل الآرغون Ar، وCO_2 (من البراكين)، وCH_4 (من الأنعام أو الماشية). وعلى الرغم من وجودها بكميات زهيدة إلا أنها ضرورية للحياة إذ تشكل الدفيئة أو الاحتباس الحراري بالقدر المثالي للحياة فيحافظ على الدفء، والوصول إلى الطاقة الكافية.

إن الآزوت أو النتروجين N_2 غاز أساسيّ أيضًا للحياة على الأرض، وهو مناسب تمامًا لأن يكون العنصر الرئيسي في غلافنا الجوي، ذلك لأنه يشكل غلافًا جويًّا غليظًا بما فيه الكفاية بحيث يسمح بتوازن الماء السائل على الكوكب ويقاوم القذائف الكونية. إن جزيئة N_2 جزيئة مستقرة للغاية وخاملة كيميائيًّا، تتكون من ذرتي نيتروجين $N \equiv N$ مرتبطتين بإحكام بروابط ثلاثية تؤمّن «مُذيبًا» مثاليًّا للأكسجين O_2. يمتلك المزيج النهائي كلًّا من الكثافة والضغط الهوائي المناسبين لتسهيل التنفس، وإتلاف الحُطام الآتي من الفضاء. يوفّر N_2 أيضًا ذرات النيتروجين للأحماض الأمينية، وهي لبنات بناء البروتينات، وكذلك تبني تشكيلة رائعة من الجزيئات الحيوية الضرورية الأخرى المحتوية على النيتروجين.

لذلك فإن غازي النتروجين N_2 والأكسجين O_2 أساسيان للحياة على الأرض، وذلك تقريبًا بالمعدل المحدد الذي يتواجدان به في غلافنا الجوي.

إن غلافنا الجويّ الحاوي على N_2 -بالإضافة إلى- O_2 شفاف تجاه الأمواج الإشعاعية والضوء المرئي، لذلك فإننا نحظى بفرصة الاستمتاع برؤية تجمعات النجوم في السماء ليلًا، بينما يشكل الغلاف الجوي سماءً زرقاءَ خلال النهار، ويعطي غروبًا ضاربًا إلى الحُمرة. يحجب مزيج الغازات هذا الإشعاعات المؤذية من الشمس في الوقت الذي يمكّننا فيه من رؤية الكثير من الفضاء ويمكننا من إرسال واستقبال الأمواج الراديوية. يا لهذا التوازن الفاتن!

ولكن حتى بوجود هذا الغلاف الجوي الرائع، تبقى هنالك مشكلة تتوجب الحل: سوف تستهلك الحيوانات O_2 و N_2 بسرعة، محولةً الأكسجين O_2 إلى ثاني أوكسيد الكربون CO_2 متسببةً بحرق الأرض جرّاء الاحتباس الحراري المفرط. وتحتاج الأرض أيضًا إلى عمليات تثبِّت بها الآزوت N_2 في التربة وفي المحيطات بانتظام، وتجعله بصيغة مفيدة من الناحية الكيميائية الحيوية، وبالفعل فإن هذه العمليات تجري الآن. إن شبكة معقدة للغاية تتضمن البرق، والجراثيم، والنباتات، والحيوانات تشكل دورة الآزوت N_2 ودورة الأكسجين O_2 الخاصة بالأرض[11].

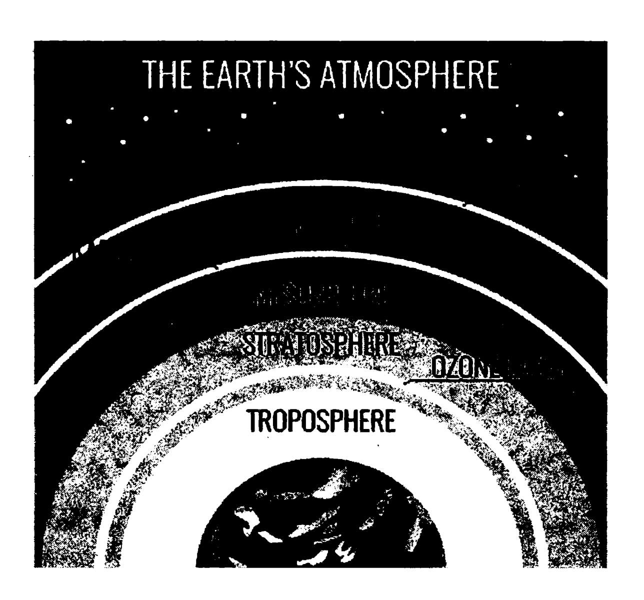
لو كان تمديد الأكسجين وتأمين ضغط جوي مناسب له، هما مصدر القلق الوحيد لكان من الممكن انتقاء غازات أخرى، ولكن الاحتباس الحراري الناجم عن مثل تلك الغازات سوف يزيد الطين بلّة. إن غازاتٍ مثل ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، وبخار الماء (H_2O)، والميثان (CH_4)، والأوزون (O_3)، والتي توجد على نحو شائع في الأغلفة الجوية لكواكبٍ أخرى قد تجدي نفعًا كمُحِلّات للأكسجين O_2، ولكنّ تراكيز كبيرةً منها ستحتبس قدرًا كبيرًا من الحرارة.

ولننظر في توازن آخر للغلاف الجوي للأرض، لو لم يمتلك كوكب الأرض غلافًا جويًّا على الإطلاق، مثل كوكب عطارد، فسوف يتسرب قدر كبير من الحرارة إلى الفضاء خلال الليل مسببًا تجمّد أية حياة. أما كوكب الزهرة فيعاني من مشكلة معاكسة، ليست الزهرة أقرب إلى الشمس من جارها عطارد، ولكنها الكوكب الأشد حرًّا في مجموعتنا الشمسية، وذلك لأن غلافها الجوي يقتصر تقريبًا على ثاني أوكسيد الكربون CO_2، يسبب ذلك احتباسًا حراريًا مفرطًا ينتج عنه متوسط درجة حرارة ٨٦٤° فهرنهايت. وهكذا فالغلاف الجوي لعطارد: أقل من المطلوب، أما الغلاف الجوي للزهرة: فهو أكثر من المطلوب، أما الأرض: فغلافها الجوي مناسب تمامًا.

الأوزون

احتفظتُ للنهاية بالمثال الأفضل لدليل وجود «البصيرة» في صنع غلافنا الجوّيّ: إنها طبقة الأوزون.

تبدي طبقة الأوزون تفاعلًا فاتنًا من الحلول المُحاكاة بعناية، تُرسل الشمس حوالي ٩٠٪ من إشعاعاتها في المجالَين المرئي وتحت الأحمر (IR)، وذلك مثاليّ للحياة وللتركيب الضوئي، ولكن تتألف نسبة ١٠٪ المتبقية من ضوء الشمس من مجموعات فرعية من الأشعة فوق البنفسجية (UV)، بعضها مؤذٍ وبعضها مفيد للحياة. على سبيل المثال، إن القليل من UV-B مفيدٌ، لأنه مطلوب من أجل إنتاج فيتامين د المُقوّي للعظام، بينما تستطيع بعض الطيور والحشرات والثدييات أن ترى أشعة UV-A وتستخدمها في الصيد، تُستخدم أشعة UV أيضًا في معالجة بعض الحالات الجلدية، مثل: داء الصدف psoriasis، والبُهاق vitiligo، وتصلّب الجلد الموضعي scleroderma، والتهاب الجلد التأتّبيّ atopic dermatitis[١٢]. ولكن أجزاءً أخرى من أشعة UV تكون مؤذية.



الشكل 2.2: يحمينا الغلاف الجوي للأرض من القذائف الآتية من الفضاء، يُرشّح الأشعة الضارة ويسمح بمرور الضوء الضروري، ويُعدّل درجات الحرارة، وإن تركيبة غازاته مناسبة تمامًا للحياة: ٢١٪ أكسجين (O_2)، و٧٨٪ نيتروجين (N_2)، والقليل من الآرغون (Ar)، وثاني أكسيد الكربون (CO_2)، وبخار الماء (H_2O).

إن الغلاف الجوّيّ مجهّز أتمّ الجاهزية لكي يحل معضلة «توازن المنفعة والضرر»، بحيث يحجب الغالبية العظمى من الأشياء الضارة، ويسمح بمرور الأشياء الجيدة. وتؤدي ما يُسمّى بطبقة الأوزون دورًا حاسمًا هنا.

تشغل طبقة الأوزون من الغلاف الجوي العُصابة السفلى من الستراتوسفير، وهي جزء يمتد من تسعة إلى اثنين وعشرين ميلًا فوق سطح الأرض، ولا تتألف من الأوزون الصرف وإنما هي طبقة أغنى بالأوزون (O_3) مقارنة بالأجزاء الأخرى من الغلاف الجوي التي تمتلك أجزاءً قليلة في المليون من هذه الجزيئة الأساسية ثلاثية الذرات. تتألف أشعة UV المُرسلة من الشمس على نحو رئيسي من ثلاثة أنواع فرعية: UV–A، وUV–B، وUV–C بالإضافة إلى القليل من UV–E. تمتص طبقة الأوزون ٩٧–٩٩٪ من ضوء UV–B والذي من المحتمل أن يؤذي الحياة بجرعات أعلى، ولكنه يؤمّن منافع صِرفة في الجرعات الأدنى، وفي الوقت ذاته، فهي شفافة في الغالب تجاه أشعة UV–A الذي يعدّ صديقًا للحياة أكثر من بقية طيف الأشعة فوق البنفسجية.

ولكن الأمر المدهش حقًّا فيما يخصّ طبقة O_3، هو أنها تعمل بتزامن مثالي مع N_2 وO_2 فتقدم لمعادلة التفاعل $O_3 \rightleftharpoons O + O_2$ توازنًا متعادلًا مثاليًّا يتواسطه كل من أشعة UV–C وUV–E. ويبدو أيضًا أن طبقة O_3 تمتلك التركيز الملائم تمامًا، وهي في الارتفاع المناسب تمامًا، بحيث تحجب UV–C الضارة، وتحجب الفائض من أشعة UV–B، في حين تسمح بمرور UV–A مع كمية مفيدة من UV–B.

يوجد غاز O_3 أيضًا في طبقة قريبة من سطح الأرض، ولكن بينت، وكالة حماية البيئة الأميركية، أننا نشكل ذلك الأوزون صناعيًّا من خلال «تفاعلات كيميائية لأكسيدات النيتروجين (NO_x) مع مكونات عضوية طيارة (VOC) بوجود أشعة الشمس مما يؤدي إلى «الضبخان smog» (خليط من الدخان والضباب فوق المدن والمناطق الصناعية–المترجم). إن المصادر الرئيسية لـ NO_x وVOC هي إصدارات من الأدوات الإلكترونية والمرافق

الصناعية، وعادمات المركبات، وأبخرة البنزين، والمُحّلات الكيميائية. إن O_3 مؤذٍ لرئتينا، كما أنه يتلف المحاصيل والأشجار والحياة النباتية عمومًا[١٣].

ستكون المشكلة أكثر خطورة لو لم تكن جزيئة الأوزون O_3 أكثر تفاعلية في الغلاف الجوي السفلي، وهذه التفاعلية العالية تمنعها من التراكم إلى مستويات تمثل أخطارًا أكبر. ومن حسن الحظ أيضًا فإن الأوزون جزيئة مُعمّرة في الستراتوسفير المُمدَد (والأكثر برودة) حيث تكمن طبقة O_3. إن O_3 المُصنّع طبيعيًّا فوقنا بما يزيد عن تسعة أميال، يحمي أكثر مما يؤذي، وذلك بفضل تموضعه الدقيق.

القسم الأكثر إيذاءً والأكثر طاقةً من ضوء UV-C يضرب O_2 هنالك فيتصنع الأوزون. مَن المذهل أيضًا اكتشاف أن UV-C يحمل كل الطاقة المطلوبة لفصل الجزيئة O=O المرتبطة بشكل تساهمي وبإحكام إلى ذرتيّ أكسجين وليد O، تندمج بعد ذلك ذرة الأكسجين عالية التفاعلية هذه مع الأكسجين الجزيئي O_2 لتنتج الأوزون O_3، ويعني ذلك أن O_2 تحجب كيميائيًّا الإشعاع الضار (UV-C) وفي الوقت ذاته تشكّل الأوزون O_3 المفيد بوساطة ذرة أكسجين شديدة التفاعلية، ويشكّل هذا طبقة O_3 الواقية التي ترشح الفائض من UV-B المؤذي، ولكن تذكّرْ أن O_3 بحد ذاتها ضارة للحياة، وبالتالي فمن الجيد أن هذه التفاعلات تحدث عاليًا في السماء.

يبدو أن جميع هذه الشلالات المعقدة من التفاعلات المُحرّضة بالإشعاع قد تطلّبت تخطيطًا يقظًا لضبط كل شيء وفق المطلوب من حيث: كثافات الغازات، والضغط الجويّ، ودرجات الحرارة، والتفاعلية؛ لكي يقتصر وجود جزئية الأوزون O_3 المؤذية حيويًّا واللاذعة والأثقل من الهواء في العلو الملائم، وبالكمية المناسبة في غلافنا الجويّ.

دعوني أشرح بتفصيل أوفى كيف تجري العملية ككل، وتحفظ الحياة على الأرض. يحتاج الأكسجين O_2 الأوزون O_3 كثيرًا ليكون بمثابة طيار مساعد بالنسبة له. يحجب الأكسجين O_2 معظم أشعة UV-C ولكنه يسمح بمرور معظم UV-B، وهي نسبة أكبر بكثير مما تحتاجه الحياة على الأرض. تُفلت UV-B من المدافع الأول O_2 ولكن يلتقطها المدافع الثاني، الأوزون O_3. عندما تصل أشعة UV-B إلى O_3 في طبقة الأوزون، يمتص معظمها،

فيفصل O_3 إلى حالته الأولى O_2 وO. وهكذا يزول الفائض من إشعاع UV-B وفي الوقت نفسه ينقلب O_3 إلى O_2، مغذيًا توازن معادلة $O_3 \rightleftharpoons O + O_2$ المعروفة بحلقة أوزون-أكسجين.

سنراجع الشرح لكن هذه المرة بالأرقام: يُحجب معظم UV-C أولًا بوساطة O_2 - الجزء ذي الطول الموجي ١٠٠-٢٠٠ نانومتر على وجه التحديد. ثم تحجب أي كمية UV-C بقيت بعد مرحلة امتصاص O_2 عن طريق طبقة O_3 (جزء UV-C ذي الطول الموجي ٢٠٠-٢٨٠ نانومتر)، وبذلك لا يصل UV-C إلى الأرض. يُستخدم الجزء الأقصر من حزمة UV-C ليقسم O_2 إلى O، مشكلًا O_3، الذي يحجب معظم UV-B المسببة لحروق الشمس (UV-B ذات الطول الموجي ٢٨٠-٣١٥ نانومتر). أما UV-A صديق الحياة (٣١٥-٤٠٠ نانومتر) فهو شفاف تقريبًا تجاه كل من O_2 وO_3. ويصل معظم هذه الأشعة الأقل ضررًا والمفيدة غالبًا إلى الأرض. إن غاز N_2 الخاص بالغلاف الجوي هو جزء أيضًا من حلقة الحجب-الترشيح المعقدة، ذلك أن N_2 يحجب حزمة UV-E الأكثر ضررًا (ذات طول موجة ١٠-١٠٠ نانومتر).

وتذكرْ أنه في الوقت الذي تحجب فيه طبقة الأوزون بالفعل معظم UV-B، فإن جزءًا نافعًا من أطوالها الموجية الأكثر طولًا تكون شفافة تجاه O_3 وتصل إلى سطح الأرض، فتستخدمها أجسامنا لإنتاج فيتامين د.

وهكذا، فإن تداخلًا معقدًا لخصائص مختلفة لامتصاص UV والتفاعل معها من قبل ثلاثة غازات (O_2 وO_3 وN_2) في غلافنا الجوي تحمي الحياة. إن لم توجد طبقة O_3 (بالإضافة إلى O_2 وN_2) فإن فرط التعرض لإشعاعات UV سوف يهدد الحياة تحت الشمس على نحو خطير. سوف تتناقص إنتاجية المحاصيل على نحو ملحوظ، وسوف يعاني البشر من ضعف الأجهزة المناعية، والعمى، وجائحة سرطان الجلد[14].

البرق: مهم لدرجة مذهلة

إنّ كلًّا من N_2 ($N{\equiv}N$) وO_2 ($O{=}O$) قد ارتبطت كل إلكتروناتها المنفردة، فلم تعد متاحة للتفاعلات، ويعني ذلك أنه لن يحدث تفاعل طبيعي بين $N{\equiv}N$ و$O{=}O$. يعدّ عوز التفاعلية

صفةً ضروريةً لاستقرار غلافنا الجويّ، ولكننا بحاجة بالفعل إلى NO ومن ثم NO_2 لتعمل في تربة الأرض كمكونات أساسية للنترات (NO_3^-) والنتريت (NO_2^-). ويجب أن يحدث هذا الاستهلاك لغاز الآزوت N_2 في الوقت نفسه الذي يستمر فيه الحفاظ على الغلاف الجوي، وبالتالي يجب أن تكون إعادة تدوير N_2 وO_2 قائمة فورًا. كيف نحل هذه المفارقة الكيميائية لوجود الحاجة لكلٍ من الاستقرار الكيميائي والتفاعلية النهائية؟ الحل: إنه **البرق**[١٥].

إن البرق عرض ألعاب نارية أخّاذ من ضوء وصوت، ولطالما فُتن به الناس. فهو مهيب للغاية لدرجة أن البشر خلال التاريخ قد قرنوه بغضب الإله. يحدث البرق عن طريق دفعات مفاجئة من الشحنات الكهربائية ما بين الغيوم المشحونة أو بين الأرض وغيمة مشحونة. تحدث ضربات البرق على الأرض بمتوسط يُقدّر بخمسين إلى مئة مرة في الثانية، أي: أكثر من مليار في السنة[١٦].

ما زال العلماء يتجادلون حول الآلية الدقيقة للبرق، ولكنهم يعتقدون عمومًا بأن الماء يتجمّد في الغيوم بدرجات حرارة تتراوح بين ٥° فهرنهايت و-١٣° فهرنهايت، مشكّلًا بلورات جليدية تصطدم مع قطيرات الماء، وتصبح البلورات الجليدية في أثناء هذه العملية مشحونةً إيجابًا، ويصبح المزيج نصف الذائب من الجليد والماء شديد البرودة مشحونًا سلبًا. تميل البلورات الجليدية المشحونة إيجابًا والأخف وزنًا لأن تتجمع بالقرب من أعالي الغيوم، بينما يتجمع مزيج ثلج-ماء المشحون سلبًا والأثقل وزنًا قرب قاعها. عندما تمر الغيمة المشحونة فوق الأرض فإنها تُحرّض شحنة معاكسة في الأرض فتتشكل مُكثّفة طبيعية Capacitor. وفي النهاية، يحدث تفريغ من غيمة-لغيمة أو من غيمة-لأرض، وذلك عبر مزيج N_2 وO_2 الذي يُشكّل غلافنا الجويّ[١٧].

وهكذا يزوّدنا البرق بالطاقة الكافية لكسر الرابطة الثلاثية (صعبة الكسر) في جزيئة $N{\equiv}N$ ليشكّل ذرات نيتروجين وليدة مفردة، التي تكون شديدة التفاعلية. وبالتالي تتحول جزيئات النيتروجين الخاملة تقريبًا إلى ذرات نيتروجين متفاعلة في طبقة التروبوسفير troposphere[١٨].

تتفاعل ذرات النيتروجين الوليدة مع الأكسجين الجزيئي O=O لتشكل NO + O ثم يتأكسد NO بدوره بسرعة إلى NO_2. ويقدر بأن ومضة برق واحدة تنتج حوالي ٤ × ١٠^٢٦ جزيئة من NO_x (NO و NO_2)، أو حوالي أربعين كيلوغرامًا.

بعد ذلك، فإن جميع الأيونات الرئيسية في الغلاف الجوي - N^+ وN_2^+ وO^+ وO_2^+ وNO_2^+ - تنقل بسرعة شحنة إلى NO منتجةً NO^+، لذلك يكون منتج البرق النهائي هو NO^+[١٩]. تمتلك الغيوم الرعدية كميات هائلة من الطاقة الكهربية - بما يكفي لتتفوق على الطاقة التفعيلية العالية لتفاعلات $N_2 + O_2$ التي تصنع NO، ومن ثمّ NO_2، وهكذا لنصل إلى الأنيونات NO_2^- وNO_3^-في التربة.

هذه الدورة التي يساعد البرق على تسييرها مفيدة جدًّا، كما يُوضّح ديفيد فولر David Fowler وزملاؤه: «إن دورة النيتروجين العالمية لها دور مركزي بالنسبة للكيمياء الجغرافية الحيوية للأرض، بتدفقاتها الطبيعية الكبيرة من النيتروجين انطلاقًا من الغلاف الجوي إلى الأنظمة البيئية البرّيّة والبحرية من خلال التثبيت الحيوي للنيتروجين»، ورجوعًا إلى الغلاف الجويّ[٢٠]. إن التثبيت الحيوي للنيتروجين (BNF) والبرق، اللذين يُرجعان النيتروجين الجزيئي N_2 غير النشط إلى NH_3 وNO_2^- وNO_3^- ومن ثمّ إلى المواد الكيميائية الحاوية على النيتروجين N، وتؤمّن أشكالًا ثابتة من النيتروجين، التي كما يُوضح فولر وزملاؤه مجددًا: «تتحول فيما بعد إلى نطاق واسع من الحموض الأمينية، والمركبات المؤكسَدَة عن طريق المتعضيات المجهرية، وتعود أخيرًا إلى الغلاف الجويّ على شكل نيتروجين جزيئي بوساطة عملية نزع النيتروجين الجرثومي denitrification في التربة وفي المياه العذبة والبحرية والرواسب». وكما أفاضوا في الشرح، فإن إطلاق N_2O في أعقاب نزع النيتروجين «يلعب دورًا أساسيًا في التوازن الإشعاعي للأرض radiative balance، وكذلك في كيمياء طبقة الأوزون في الغلاف الجويّ، حيث يُخرَّب N_2O بوساطة التحلل الضوئيphotolysis»[٢١]، وهو عملية كيميائية تُحطّم الجزيئات إلى وحدات أصغر عن طريق امتصاص الضوء.

إن التثبيت الحيوي للنيتروجين، وإنتاج NO_x بوساطة البرق، هما الحل لإيجاد مصادر جديدة للنيتروجين المتفاعل في محيطنا الحيوي. فالإمداد الثابت بالنيتروجين المتفاعل، أمرٌ حاسم ليس فقط على صعيد الزراعة، وإنما لجميع أشكال الحياة. وعلى الرغم من أن الاعتقاد حاليًا بأن كمية النيتروجين المتفاعل الناتجة عن البرق أصغر بكثير (إلى درجة أسّيّة) من تلك الناتجة عن التثبيت الحيوي للنيتروجين، إلا أن البرق لاعبٌ أساسي في دورة النيتروجين، وهو مهم من أجل تشكيل الأوزون، وللحفاظ على القدرة التأكسدية في الغلاف الجوي[٢٢]، لن توجد حياة دون وجود البرق الذي يصنع NO من خلال تفاعل N_2 مع O_2.

وتذكّرْ أن الغيوم، والخصائص الدقيقة جدًا لتَغيُّر الأطوار، وفصل الشحنة لبلورات الثلج، كل ما سبق ذكره ينتج عن القوى الكيميائية المتينة التي تمسك جزيئات H_2O بعضها مع بعض، أي قطبيتها، وخصائصها الفريدة لتشكيل روابط هيدروجينية. وبمعنى آخر، نحتاج لكلٍّ من البرق والغيوم المائية المشحونة بقوى كهربية من مليارات الكيلو واط، وإلا فكما أسلفنا، لن توجد الحياة.

هل هو العلم؟

وهكذا رأينا ضرورة وجود الضبط الدقيق لكوكب الأرض وقوانين وثوابت الفيزياء والكيمياء، بأوجه عديدة لتكون الحياة ممكنة الوجود، مع وقوع الكثير من الضبط الدقيق قبل ظهور الحياة في المشهد. ولا بدّ أن تكون الكيمياء والثوابت الكونية مضبوطة بدقة قبل أن يُتاح للتفاصيل الصغيرة في الكيمياء الحيوية أن يُخطط لها من أجل حياتنا. هذا البُعد الخاص بالضبط الدقيق يدلنا على أن «البصيرة» قد لعبت دورًا في البنية الأساسية للكون.

لجأ البعض بغية إلغاء انطباعات التصميم لكل هذه البصيرة الواضحة فعلًا، إلى ادعائهم بوجود أكوان أخرى لا تُعدّ ولا تحصى، كلها خارج إطار مشاهدتنا، وبالصدفة حصلنا على الكون المناسب بالضبط بينما لم تكن معظم الأكوان الأخرى في هذه الأكوان المتعددة محظوظةً[٢٣]. إن الفرضيات المختلفة للأكوان المتعددة حول تفسير الضبط الدقيق تحوي إشكالياتٍ جدية[٢٤]. وسيسحبنا النقاش المفصّل حولها خارج نطاق غرضنا من هذا الكتاب،

ولكن حتى إن وضعنا كل هذه الإشكالات جانبًا، يبقى أمامنا الإشكال التالي: تخفق نظرية الأكوان المتعددة في تفسير قائمة طويلة ومتزايدة في علم الأحياء من الأشياء التي تظهر أنها احتاجت مدخلات خلّاقة على كوكب الأرض بعد نشأة كوننا. وذلك لأن الضبط الدقيق جدًّا في الفيزياء والكيمياء الذي اكتُشِف في العقود الحديثة هو شرطٌ ضروري، ولكنه غير كافٍ للحياة الحيوية. فقد لزم للحياة أشكال لاحقة من الضبط الدقيق أيضًا[٢٥].

لا يدلنا مجمل هذا الضبط الدقيق على وجود البصيرة فقط بل يدلنا على «البصيرة» النفاذة المذهلة، وكلما ازدادت معرفتنا حول هذا الموضوع، أصبح الدليل أقوى على وجود «البصيرة».

لكن عند طرح هذه الحجة فسيُعترض عليها دومًا بما يلي: إن كان للبصيرة ضلع في الضبط الدقيق للكون فلا بدّ أنها بصيرة كائن خارق للطبيعة، كائن متجاوز للكون وقوانينه، وبالتالي، فإن أي استنتاج حول البصيرة لا يُعدّ علمًا.

تثير هذه الشكوى سؤالًا جوهريًّا: ما هو التعريف الملائم للعِلم؟

على عكس الفهم الشائع، فإن العلم هو نشاط بشري متنوع، وهنالك العديد من المناهج العلمية المختلفة[٢٦]. توجد تداخلات بينها بالطبع، ولكن توجد فوراق مهمة أيضًا. على سبيل المثال، يركز علم المختبرات على كيفية عمل الأشياء الآن، ويُوظّف طريقة منهجية واحدة. في حين أن العلوم التاريخية بما في ذلك علم الأصول «علم النشأة»، تُستلهَم من مناهج علم المختبرات، كما تُستلهَم من مناهج أخرى أيضًا، ذلك أن علم الأصول يسعى لاكتشاف مسببات الأحداث في الماضي، وبالتالي فهي أحداث غير ملحوظة بالطريقة التي يستطيع الشخص، مثلًا، أن يلاحظها في علم الأحياء الجزيئي مستخدمًا المجاهر المتطورة.

وتوجد بالتأكيد اختلافات أيضًا في المنهجيات حتى ضمن العلوم التجريبية، على سبيل المثال، يختلف علم البيئة عن علم الفيزياء. ولذلك أصبح العلماء والمجتمعات العلمية يُعرّفون العلم بعدة طرق متداخلة، ولكنها أيضًا تعريفات متنافسة في بعض الأحيان. فمثلًا عرّف مجلس كانساس التعليمي Kansas Board of Education العلم بأنه: مسعى إنساني

يهدف إلى تفسير العالم الطبيعي، وإن أضاف إلى هذا التعريف قيدًا شاملًا: أنه يلجأ فقط إلى القوى الطبيعية: «إن العلم محدد في تفسير العالم الطبيعي فقط، مستخدمًا السبب الطبيعي فحسب. ذلك أن العلم لا يمتلك في الوقت الراهن أدواتٍ لاختبار التفسيرات التي تعتمد على أسباب غير طبيعية (مثل: الأسباب الخارقة للطبيعة)»[٢٧].

يمكنني تفنيد ادّعاء علم الأصول بأنه لا يمتلك أي وسيلة لاختبار التفسيرات المعتمدة على الأسباب الذكية، سواء كانت أسبابًا خارقة للطبيعة أو غيرها. ويوجد أيضًا الاعتراض التالي: في حال كان التعريف السابق هو **أفضل** تعريف للعلم فسيسمح برؤيةٍ كونيةٍ واحدة في العلم وهي: المذهب الطبيعي naturalism. وهذا التقييد المنحاز يعني وجوب تجاهل أو استبعاد تفسير الضبط الدقيق، وجميع الأدلة الأخرى حول البصيرة الجليّة في الطبيعة، ويكون ذلك مثلًا، عبر الالتجاء إلى أفكار أسطورية مثل الأكوان المتعددة. ولكن تقييدًا مثل هذا ينمّ عن نظرة قاصرة للعلم، تستبعد الدليل لمجرد أنه لا يتوافق مع استنتاج مرغوب.

لا بدّ من وضع تعريف أفضل وأكثر عموميةً للعلم، وهو تعريف موجود بالتأكيد: **إن العلم بحث منهجي وغير منحاز للوصول إلى معرفة عن الطبيعة؛** ونمتلك في ظل هذا التعريف الحرية في التفكير والاستقصاء والشك والاستنتاج بناءً على الدليل الذي بين أيدينا مهما كان. إن المبادئ الضمنية للعلم هي حرية التفكير والتعبير، مسترشدة بالبيانات التي جمعت باستخدام الطرق المنهجية. إن كان العلم؛ البحث عن الحقائق المطلقة[٢٨] المستترة ضمن الطبيعة- يُعتبر مسعىً صارمًا موجهًا بالحقيقة، فيجب أن يقيده العقل والدليل فقط.

وبهذا البيان الواضح لفهمنا عن العلم، أصبح جليًّا أن استقصاء دليل محتمل للضبط الدقيق والبصيرة والتصميم الذكي، هي مشاريع علمية صالحة. وإن المناظرات والمحاورات الصريحة بين الأشخاص المعنيين بالبحث العلمي الحر عن المعرفة هي القوى المُسيِّرة للعلم. علينا أن نتبع الدليل بغض النظر عمن وجده، وبغض النظر عن دافع الشخص الذي يدير البحث، ومهما سيخبرنا به عن الواقع. ذلك هو العلم الوحيد الذي يستحقّ الاشتغال به.

ومع هذا الفهم العام، سنرجع في الفصل القادم لاستقصاءاتنا في الكيمياء الحيوية، متحررين من أي قاعدة تصادر على المطلوب (تفترض مسبقًا صحة ما يُطلب إثباته). سوف نتعقّب آثار الأدلة كأي محقق متمرس، رافضين استبعاد الخيارات الحيّة قبل الأوان، ومنقادين فقط وراء المنطق والأدلة المتراكمة.

الفصل الثالث
شيفرة الحياة

الآن بعد أن فهمنا بوضوح لزوم البصيرة بداية لجعل الكيمياء الحيوية ممكنة، سنتحدث عن الخلية.

تمتلك الخلية نظامًا خاصًا معقدًا لمعالجة المعلومات يشبه إلى حد كبير نظام الحاسوب. تتطلب برامج الحاسوب مبرمجين، وهم فاعلون يتمتعون بالوعي، ويملكون معرفة وبصيرة، مما يمكنهم من وضع التعليمات البرمجية اللازمة في التسلسل الصحيح لإنشاء برنامج فعال غني بالمعلومات. هل لدينا أي سبب يدفعنا للاعتقاد بأن المعلومات الموجودة في الخلايا برمجها مبرمج، ولم تنشأ بواسطة عمليات عشوائية؟ لنتعمق في التفاصيل وننظر في خياراتنا.

البصيرة في الحمض النووي DNA

تعد المعلومات الوراثية للخلية من السمات الأساسية للحياة وأقدمها[1]. وهي ضرورية لآلية نشوء جميع الكائنات الحية على الأرض وتحركها، وتكاثرها. ولن يتمكن أي كائن حي دون المعلومات الوراثية، أن يُنتج الجزيئات البيولوجية الضرورية للحياة.

لو تطورت المادة إلى خلايا حية عبر عمليات عمياء فقط، كما تؤكد النظرية التطورية، فإن هذه المعلومات قد نشأت بطريقة ما من المادة والطاقة عبر عمليات طبيعية غير موجَّهة.

لذلك يجب على منظري نشأة الحياة الملتزمين بتفسير حصري للحياة من المذهب الطبيعي، أن يعللوا الظهور المتزامن لكلٍّ من المعلومات الوراثية، ونظام معالجة المعلومات في الخلية، لأن هذه الأشياء تعمل في تآزر مباشر بحكم طبيعتها نفسها، بحيث لا يمكنها أن تتطور تدريجيًّا.

لا ينبغي أن تفاجئنا هذه الاستحالة، لأن المعلومات الوراثية genetic information والشيفرة الوراثية genetic code يشتملان معًا على ميزات؛ مثل: المنطق الدلالي semantic logic، والترتيب المنطقي للرموز، وهي أشياء لا تُمليها أي قوانين في الفيزياء أو الكيمياء.

التسلسل الجيني للخلية هو في الأساس نظام تشغيل، أي: شيفرة أو كود code، تحدد الوظائف الجينية المختلفة للخلية، مما يؤثر على كل شيء ابتداء من كيمياء الخلية وبنيتها إلى آلية التضاعف والتوقيت. ولأن بعض الوظائف تتقاسمها جميع أشكال الحياة، تتشابه كل الجينات إلى حد كبير. فتشترك مثلًا جميع الثدييات في أكثر من ٩٠٪ من جيناتها[٢]. وتشير التقديرات أنه حتى أشكال الحياة المتمايزة جدًّا مثل: البشر والموز، تتقاسم ٦٠٪ من معلوماتها الوراثية[٣]. والأجزاء الفريدة المتبقية هي تعليمات محددة للاحتياجات المتنوعة لمختلف الأجناس والأنواع.

نظرًا لأهميته البالغة للحياة على الأرض، كان لا بد من نقل المعلومات الجينية وتخزينها بطريقة مدمجة، وفعالة، تخلو من الأخطاء قدر الإمكان. تطرح هذه الحاجة مجموعة من المشكلات التي يجب حلها وإنجازها معًا، بحيث تكون الجزيئات القادرة على تخزين ونقل المعلومات الوراثية، جاهزة للانطلاق منذ ظهور أول كائن حي.

يتكون الحمض الريبي النووي منقوص الأكسجين DNA من ثلاثة أنواع من المواد الكيميائية. إحداها هي شاردة الفوسفات PO_4^{3-}، التي تملك أربع ذرات أكسجين موزعة بشكل رباعي حول ذرة الفسفور، بحيث تولد شحنة ثلاثية سالبة. والمادة الثانية هي جزيء السكر الحلقي الخماسي -الريبوز- وله أربع مواقع تحوي وظيفة OH متاحة للارتباط. (يستخدم الحمض النووي شكلًا خاصًّا من الريبوز يدعى الريبوز منقوص الأكسجين. وقد

استبدل في الريبوز منقوص الأكسجين جذر OH ووضع مكانه ذرة H. سنناقش الاختلافات بين الريبوز والريبوز منقوص الأكسجين بعد قليل، ونذكر أهمية هذه الاختلافات، لكننا سنتكلم حاليًا فقط عن (سكر الريبوز). تضم الفئة الثالثة من المواد الكيميائية، أربعة أنواع مختلفة من الأسس الثابتة، المتينة، ذات الحلقات غير المتجانسة، أساسين من البورينات، وأساسين من البرميدينات، لكل منهما القدرة على الارتباط بقوة بسكر الريبوز بروابط تساهمية covalent، والارتباط ببعضها البعض عبر رابطين أو ثلاثة أذرع من الروابط الهيدروجينية، فوق الجزيئية supramolecular.

الأشكال الناتجة أي الريبوز المرتبط بالأساس الآزوتي «النيوكليدات الريبية» أشكال مثالية لنقل المعلومات. قد تسأل لماذا هي مثالية لهذا الأمر؟ سنشرح ذلك على مراحل. سيغدو النص التالي في هذا الفصل تقنيًا إلى حد ما، لكنني رتبت الأمور بحيث إن كنت تريد تجاوز القسم التقني، يمكنك الحصول على خلاصة الحجج عبر قراءة أول فقرة أو فقرتين، والفقرتين الأخيرتين من كل قسم فرعي، وقراءة القسم الختامي للفصل. كما توجد أيضًا العديد من الرسوم التوضيحية المفيدة في السياق.

شاردة الفوسفات السالبة

ليستمر مستودع معلومات الحياة الوراثية بالبقاء، يجب أن يقاوم التفكك عند وجود الماء. أي: يجب حل مشكلة التحلل المائي hydrolysis مسبقًا، وإلا فإن مخزن معلومات الحياة سيتفكك بسرعة تماثل سرعة تفكك قلعة رملية على الشاطئ عند وصول ماء المد إليها. كيف يواجه الحمض النووي هذا التحدي؟ إن ذلك من روائع البراعة الهندسية.

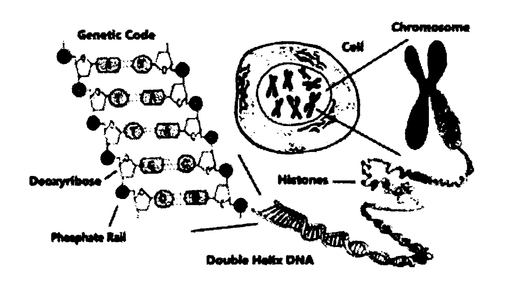
الحمض النووي «الدنا» هو ما يدعى الإستر البوليمري، ويتكون من شريط طويل للغاية من الفوسفات (PO_4^{3-}) -طول الشريط يقارب المترين في البشر- ويتخلله النكليوتيدات الريبية. وهذه البنية الجزيئية مناسبة تمامًا للحمض النووي، كما سنرى.

يسمح التركيب الكيميائي ثلاثي الأبعاد لـ PO_4^{3-}، مع وجود أربع ذرات أكسجين، وثلاث شحنات صافية، بالارتباط مع اثنتين من النكليوتيدات الريبية (باستخدام ذرتي أكسجين) بينما

تبقى ذرة إضافية من الأكسجين مفردة الشحنة. إذا كانت "R" تمثل نكليوتيد ريبي، فيمكن كتابتها كما يلي

$$(R^1O)(R^2O)\,P(=O)-O^-$$

وتكون هذه الشحنة السالبة المتبقية في طنين إلكتروني (تنقل إلكتروني) مستمر مع ذرتي أكسجين. يُعدّ طنين الشحنة هذا ضروريًّا، لأنه يثبِّت جزيء الحمض النووي ويحفظه من التفاعل مع الماء (التحلل المائي)، وذلك عبر تشكيل درع كهربائي حول الشريط الحلزوني المزدوج بأكمله. يحمي هذا الحقل الكهربائي المحيط أيضًا الحمض النووي داخل نواة الخلية، ويمنع هروب الحمض النووي الثمين بطريق النفوذ الغشائي. هذه الخصائص تجعل من شاردة PO_4^{3-} الرابط المثالي لبناء جزيء DNA مستقر، مرتبط بكل من السكريات والأسس الثابتة، ومحمي بشكل جيد من التحلل المائي، ومغلف بشكل مثالي داخل الغشاء النووي[4]. يجب أن يوجد هذا الترتيب الجزيئي المصمم بشكل رائع بحيث يحافظ على الحمض النووي، في أي خلية لتتمكن من الحياة. فإما أن تبنيه كله أو يخرب كل شيء make or break.



الشكل 3.1: يكون جزيء الحمض النووي على شكل سلم ملتوٍ – حلزون مزدوج. توجد قضبان الفوسفات الجانبية من الخارج، و «درجات» السلم هي النيوكليوتيدات الأربعة (A وT وC وG) التي تحمل معلومات مشفرة. تعمل الهستونات كبكرات لتعبئة الحمض النووي إلى كروماتين، وهي المواد التي تُركب منها الصبغيات.

ولكي يعمل الحمض النووي بشكل صحيح، يتعين حل مشكلة أخرى. فرغم أن شاردة PO_4^{3-} غير العضوية هي الرابط المثالي للحمض النووي، ولكنها عندما تعمل كحلقة وصل

لجزيء بوليميري طويل سيكون تفاعلها بطيئًا جدًّا مع الريبوز منقوص الأكسجين. وهكذا تحتاج الخلية إلى محفز مناسب لتسريع هذا التفاعل الضروري ولكن البطيء. إن الإنزيمات -وهي جزيئات حيوية كبيرة رائعة التصميم- تؤدي هذه المهمة بتسريع تشكيل مثْل هذه الروابط بأعداد كبيرة جدًّا. تركيب الإنزيمات هو عملية أخرى مدهشة تمامًا، سنناقشها لاحقًا. تلزمنا منذ البداية لإنتاج الحمض النووي. ولكن مع ذلك يجب تصنيعها باستعمال تسلسل من الحمض النووي الذي «نشأت» هي لتصنعه.

لذلك لدينا حلان مبدعان لتحديات من نمط إما التنفيذ أو الموت: أعجوبة هندسية -هي درع كهربائي- يحمي الحمض النووي من الانهيار بوجود الماء؛ وأعجوبة هندسية أخرى -هي الإنزيمات- تسرع حدوث تفاعل ضروري سيكون بطيئًا للغاية دون وجودها. ولا يمكن أن يأتي هذان الحلان المبتكران بالتتالي؛ الواحد تلو الآخر، لأن تسلسل الحمض النووي ضروري لصنع الإنزيم، وفي الوقت نفسه فالإنزيم ضروري لصنع الحمض النووي. يجب أن يكون كلًّا من الحمض النووي البوليميري، مع روابط فوسفات-سكر المتعددة، وحركية التفاعل البطيئة للغاية، وكذلك الإنزيمات المناسبة لتسريع عملية تكوين روابط فوسفات-سكر للحمض النووي، في مكانهما معًا وفي الوقت ذاته. إن وجدت إحداها فقط دون الأخريات، فلن توجد خلية على الإطلاق.

الريبوز

هناك حاجة إلى جزء صغير آخر من الذكاء الهندسي لتثبيت استقرار الحمض النووي. يجب أن تكون PO_4^{3-} قادرةً على التفاعل مع الريبوز في أي من مجموعات OH الأربعة الممتدة من جزيء السكر عند تشكيل شريط الفوسفات؛ ولكن الطبيعة الجوهرية لروابط ثنائي استر الفوسفور الموجودة في الحمض النووي تستفيد حصريًّا من مجموعات OH – 5 – 3. (كما تشير جزيئات الريبوز في الشكل ٣-٢، يرقّم الكيميائيون الحيويون ذرات الكربون للسكر. فيربط العمود الفقري الفوسفاتي للحمض النووي ذرة كربون ٥ في جزيء سكر بالكربون ٣ في جزيء السكر التالي). اتضح أن هذا الاختيار ٥-٣ في روابط OH يزيد من

ثبات الحمض النووي عند مقارنته بارتباط ٥-٢. استبدلت في الحمض النووي «الدنا DNA» مجموعة OH ٢ بذرة H، فهي غير متاحة للربط، وذلك لسبب وجيه. فهذا التغيّر سيمنع تحلل الحمض النوويّ، ومنع التحللِ أمر ضروري لأي جزيء يستخدم لتخزين المعلومات لفترة طويلة.

مقال حديث يشرح معايير الاختيار باستفاضة:

يرجع فعلًا سبب اختيار الطبيعة للفوسفات إلى التفاعل المتبادل بين تأثيرين متضادين: فمن ناحية تكون الفوسفات مشحونة سلبًا، ويساهم تنافر الشحنات مع محب النوى المهاجم في إيجاد حواجز مرتفعة جدًّا ضد التحلل المائي، مما يجعل استرات الفوسفات من بين أكثر المركبات الخاملة المعروفة... [لكن] تنافر شحنة - شحنة ذاته الذي يجعل تحلل استرات الفوسفات غير مناسب للغاية يسمح بإمكانية تنظيمها أيضًا، عن طريق استغلال الكهرباء الساكنة. وهذا يعني أن التحلل المائي لاستر الفوسفات لا يمكن تشغيله فحسب، بل يمكن إيقافه أيضًا عن طريق الضبط الدقيق لبيئة الكهرباء الساكنة... مما يجعل استرات الفوسفات مركبات مثالية لتسهيل وجود الحياة كما نعرفها[٦].

وبالتالي، فإن الفوسفات فقط لديها القدرة المزدوجة اللازمة لوظيفة الحمض النووي.

وقد بنى الباحثون مضاهيات للحمض النووي باستعمال سكريات غير الريبوز وقاسوا خصائصها. فهل كان الريبوز، هذا السكر الحلقي الخماسي، مجرد أحد الخيارات الجيدة الكثيرة المتاحة؟ لا يبدو ذلك[٧]. إذ يجب أن يكون الجزيء النهائي مستقرًّا، وقادرًا على حمل شيفرة الحياة. والريبوز هو السكر القادر على أداء تلك الوظائف دون غيره. نظائر الحمض النووي التي تستعمل سكريات أخرى، ليست جزيئات تخزين مناسبة للمعلومات. فقد فشل الحمض النووي المصنوع من سكريات أخرى في تكوين حَلزون مزدوج مستقر، أو كانتِ التفاعلات بين الجزيئات فيه قوية للغاية أو ضعيفة للغاية، أو أن ارتباطاتها غير انتقائية بما فيه الكفاية. تعتمد نظائر الحمض النووي الأخرى مختلف أنواع التشكلات التي من شأنها أن تعيق آلية التضاعف في الخلية. وبالمحصلة كان الريبوز هو الخيار الوحيد الناجح.

اقترح داروين أن الحياة ظهرت صدفةً في «بركة صغيرة دافئة». وبعبارة أخرى، شكل حادث عرضي جزيئًا متقنًا لتخزين المعلومات، وقد جهّزه بالسكر الوحيد الذي يمكّنه من أداء وظيفته. لكن إن نظرنا في العدد الذي لا يُحصى من الجزيئات التي تحمل مجموعتي OH ويمكنها مضاهاة دور الريبوز، فإن مهمة صنع هذا السكر المحدد والضروري للحياة بشكل عشوائي في «الحساء البدائي» وإيجاده وتحديده بدقة أمر غير محتمل[٨].

كما أن الريبوز مثالي أيضًا في تكوين بنية جزيئية ثلاثية الأبعاد. صحيح إنه ليس السكر الوحيد الذي يسمح للحمض النووي بتكوين حلزون مزدوج مستقر، لكنه أفضل بكثير من غيره. تبلغ المساحة الداخلية الناتجة داخل اللولب المزدوج حوالي ٢٥ أنغستروم ($١٠^{-١٠}$م)، وهذه المسافة مثالية بالضبط لأساس واحد أحادي الحلقة من النيتروجين (T أو C) بالإضافة لأساس واحد ثنائي الحلقة (A أو G). تسمح هذه المسافة المثالية بتكوين أزواج من الأسس الآزوتية، حيث تشكِّل (كما سنرى أدناه) زوجا ثنائيا A مع T، وزوجا ثنائيا C مع G، فتصنع معايير انتقائية حاسمة للشفرة الوراثية. وإنْ استخدم أي سكر غير الريبوز، فستكون تلك المسافة أوسع أو أضيق بكثير من المطلوب.

أسس الحمض النووي «الدنا DNA» الأربع

وهنالك سؤال حاسم آخر: لماذا «اختارت» الحياة المجموعة الرباعية الخاصة جدًّا من الأسس الآزوتية ATGC؟ هنا يظهر مؤشر آخر على دور التخطيط في البنية الكيميائية للحمض النووي DNA من حيث اختيار لغة مكونة من أربعة أحرف، ستستخدم لاحقًا لترميز وحدات طولها ثلاثة أحرف. فلماذا لم تختر مزيدًا من الأحرف، أو تختر وحدات أطول؟ يعمل بعض زملائي العلماء بالضبط على صنع مثل هذه الفرانكنشتاينات الوراثية. إن عملهم رائع. ولكن يجب أن يكون الحمض النووي اقتصاديًّا قدر الإمكان، ولكي يستمر الحمض النووي، يجب أن يكون مستقرًّا كيميائيًّا إلى حد كبير. وهذه الأسس الآزوتية الأربعة هي بالضبط ما يلزم. فهي ثابتة جدًّا، وترتبط بسكر الريبوز عبر روابط تساهمية قوية N–O آمنة للغاية. يمكن لكل أساس من هذه الأسس الأربعة الرائعة إقامة تطابقات مثالية عبر التعرف

الجزيئي الدقيق بواسطة روابط هيدروجينية H فوق جزيئية. يتم محاذاة زمر أزواج G≡C بدقة لتأسيس ثلاث روابط هيدروجينية جزيئية قوية. أما الزوج A=T فيتحاذيان لتشكيل رابطين من الروابط الهيدروجينية. ولا ينجح الزوج A وG في ذلك، وكذلك C وT، أو C وA، أو G وT. فالأزواج التي تنجح في إنشاء روابط هيدروجينية قوية هما الزوجان G≡C وA=T فقط.

ولكن لماذا لا نرى الاقترانG≡G، C≡C، A=A أو T=T؟ في نهاية المطاف يمكن لهذه الثنائيات أيضًا تشكيل رابطتين أو ثلاث روابط هيدروجينية. يعود سبب عدم وجود هذه الاقترانات إلى طول المسافة بين طاقي الحلزون المزدوج الذي يبلغ ٢٥ أنغستروم بحيث لا يمكنها أن تستوعب الاقتران بين أساسين كبيرين (ثنائي الحلقات) A وG، أما الأساسان الصغيران T وC (أحادي الحلقة)، فسيكونان متباعدتين جدًّا بحيث لا يسمح ذلك بتكوين روابط هيدروجينية[٩].

فالحلزون المزدوج المستقر الذي يتكون من الشريط البوليمري الفوسفاتي-الريبوزي المثالي، مع وجود مساحة داخلية مناسبة لاستيعاب اقتران A=T أو G≡C بوجود رابطتين أو ثلاث روابط هيدروجينية H أمر ضروري لوجود شيفرة للحياة. ولحسن الحظ، فإن هذا هو ما لدينا بالضبط.

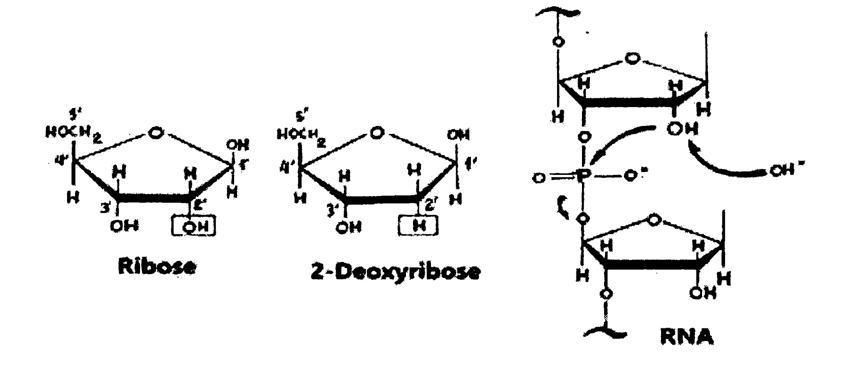
الريبوز في الرنا RNA مقابل الريبوز منقوص الأكسجين في الدنا DNA

يوجد مثال آخر أوضح عن المشاكل المحتملة في بنية الحمض النووي التي ينبغي حلها قبل إيجاده. يجب أن يكون الحمض النووي DNA مستقرًّا للغاية، وفي حين أن الحمض الريبي النووي RNA، باعتباره وسيطًا مؤقتًا بين الحمض النووي والبروتين (كما سنرى أدناه) يجب أن يكون أقل ثباتًا بكثير. يستخدم الحمض الريبي النووي (RNA) جزيء سكر الريبوز السليم لصنع شريطه البوليمري، بينما يستخدم الحمض النووي DNA نسخة ريبوز تنقصها ذرة أوكسجين، أي: الريبوز منقوص الأكسجين deoxyribose. نظرًا لأن ما تم هو استبدال مجموعة OH ووضِعَ مكانها هيدروجين H، فقد صنعت موضعًا «خاملًا كيميائيًّا» هو الموقع ٢ من حلقة الريبوز، فيبدو غريبًا من النظرة الأولى أن نلاحظ مثل هذه الرعاية للتفاصيل

الجزيئية التافهة ظاهريًّا. لكن اتضح أن هناك سبب مهم للحياة للقيام بهذه الخدعة الكيميائية المدهشة.

إن اختيار سكر «ريبوز مُيمَّن D» لتركيب الرنا المرسال m-RNA واستخدام «ريبوز مُيمَّن D منقوص الأكسجين» لتركيب الحمض النووي DNA سينتج عنه زيادة الاستقرار الكيميائي للحمض النووي DNA، مقابل خفض استقرار الحمض النووي الريبي RNA في الوسط القلوي. وكلا التأثيرين له سبب وجيه.

إذا كان DNA النووي هو محرك الأقراص الصلبة للحياة، بحيث يخزن المعلومات لفترة طويلة، فإن الرنا المرسال (m-RNA)هو محرك الأقراص المحمول الخاص بالحياة، حيث ينقل المعلومات في فترات زمنية قصيرة. لذلك كان من المفترض أن يكون عمر الحمض النووي الريبي قصيرًا، وإلا فلن يتوقف إنتاج البروتين أبدًا. فاحتاجت الحياة إلى وسيلة سريعة «لهضم» الرنا RNA عبر التحلل المائي، وإعادة تدوير مكونات الحمض النووي الريبي بشكل مثالي عند انتهاء مهمته. عندما حلل الكيميائيون هذا الاستبدال «الغامض» OH / H؛ اكتشفوا أن مجموعة 2-OH التي تبدو «خاملة» تساعد في زيادة سرعة تأثر الحمض النووي الريبي RNA بالتحلل المائي أسرع بحوالي مائة مرة من الحمض النووي DNA[١٠]. وهكذا نرى أنه يجب استعمال «الريبوز» في RNA لتسهيل هضمه في الوسط القلوي، ويجب استعمال «الريبوز منقوص الأكسجين» في DNA لإطالة عمره. وإلا ستكون الحياة مستحيلة الوجود. ونقول مرة أخرى: إنه من جميع الوجوه، يجب تقدير ضبط الفارق في درجة الثبات لكل من الحمض النووي (DNA) والحمض النووي الريبي (RNA) مبكرًا وتقديم الحل في الوقت المناسب تمامًا.



الشكل 3.2: التركيب الكيميائي للريبوز و٢ ديوكسي ريبوز، وجزيئين ريبوز مرتبطين لتشكيل RNA. إن طبيعة الرابطة بين جزيئي ريبوز (بالمقارنة مع جزيئي ريبوز منقوص الأكسجين) تقلل من عمر الحمض النووي الريبي، وهو أمر مهم حقًا لنظام معالجة المعلومات في الحياة.

التجانس المرآتي وتبديل U مع T

هناك حلول أخرى مذهلة داخل الحمض النووي DNA والحمض النووي الريبي RNA. فمثل العديد من الجزيئات العضوية الأخرى، قد يأتي سكر الريبوز كمركب يميني (D) أو كمركب يساري (L)، وسيكون للتجميع العشوائي للعناصر مزيج متساوٍ تقريبًا من الاثنين - ما يعرف باسم خليط راسمي racemic- لكن المزيج الراسمي من D-ribose و L-ribose سيكون كارثة بيولوجية، يستحيل معها تماسك الحلزوني المزدوج ثلاثي الأبعاد بشكل ملائم. يحتاج كل من الحمض النووي DNA والحمض الريبي النووي (RNA) إما أن يكون كله مركب من ريبوز مُيمَّن D، أو أن يكون كله بريبوز مُيسَّر L – وليس إلى خليط منهما.

إذن هذا هو اللغز: كيف استطاعت القوى الكيميائية العمياء البحتة أن تحقق هذا الاختيار الصعب ثلاثي الأبعاد؟ وتعليقًا على اللغز، أقر فيليب بول Philip Ball ذات مرة، وهو كاتب علمي ومحرر في مجلة «نيتشر»، «في الذكرى الستين للحلزون المزدوج»، علينا أن نعترف أننا لا نفهم تمامًا كيف يعمل التطور على المستوى الجزيئي[١١]. وكلامه مُلطف.

هناك فرق حاسم آخر بين الحمض النووي الريبي RNA والحمض النووي DNA. حيث يستعمل الحمض النووي DNA أساس التايمين (T)، بينما يستعمل الحمض الريبي النووي RNA اليوراسيل (U). هذا التبديل من U إلى T مثير للاهتمام، لأن التركيب الكيميائي لكلا T وU متطابق تقريبًا، والفرق بينهما هو مجموعة ميثيل واحدة صغيرة (CH_3) فقط. وكما لاحظ محررو *NSTA WebNews Digest*، فإن تحويل اليوراسيل إلى التايمين يتطلب طاقة، فلماذا تهتم الخلايا بإضافة الميثيل إلى اليوراسيل لتحويله إلى تايمين الحمض النووي DNA؟[١٢]"، بالإضافة إلى ذلك، يبدو ظاهريًا أن المجموعة الإضافية في موضع خامل إلى حد ما على حلقة T.

لذلك، يبدو أن مجموعة CH_3 صغيرة الحجم وخاملة موجودة فقط «للتمييز» بين U وT مع أقل قدر ممكن من إرباك للخواص الكيميائية. تم تقديم عدد من التفسيرات التطورية لهذا التبديل منU إلى T،[١٣] لكن تبين أن هذا التبديل يحافظ على تكامل نظام تخزين المعلومات بالكامل، لذلك يلزم منذ البداية شكل متطور تمامًا.

كما رأينا سابقًا، فإن أسس الحمض الريبي النووي الأربع (A وU وG وC) هي ممتازة بالنسبة للمهمة المكلفة بها، لكنها تسبب أيضًا مشكلة إن استعملت في سياق خاطئ. التبديل من U إلى T هو الحل. الرباعية الأصلية جيدة بالنسبة للحمض الريبي النووي الأقل استقرارًا، ولكنها ليست الخيار الأفضل للحمض النووي طويل الأمد.

ستظل قاعدة U تحدد الاقتران التفضيلي معA، لكن ثنائية A=U ليست مثالية لدورها في الحمض النووي DNA، نظرًا لأن U يمكن أن يتطابق بكفاءة مع جميع الأسس الأخرى، بما في ذلك التطابق مع نفسه. من ناحية أخرى، فالأساس T للحمض النووي DNA أكثر انتقائية بكثير من U في الاقتران مع الأدنينِA، وتشكيل ثنائية A = T أكثر ثباتًا.

هذه الخصوصية تكون منطقية عندما نتذكر بأن الحمض النووي DNA، الذي يتكون من الأحماض النووية، وشوارد الفوسفات، وجزيئات السكر، أليف جدًّا للماء (محب للماء).

كما يوضح مايكل أونكن Michael Onken، فإن إضافة مجموعة الميتيل CH_3 الكاره للماء إلى U (وبالتالي تشكيل T) يدفع T لرفض بقية الحمض النووي DNA. وهذا بدوره، ينقل T إلى موقع محدد في الحلزون. يؤدي هذا التموضع المثالي إلى ربط T بشكل حصري بـ A، مما يجعل الحمض النووي نظامًا أفضل وأكثر دقة لتكرار المعلومات[١٤]. مما يضمن السلامة طويلة الأمد لمعلومات الحمض النووي DNA[١٥].

لذلك نرى أن أهم مبادئ التصميم الأساسية في حلزون الحمض النووي قد ضُبطت بعناية لكي تعمل الشيفرة بشكل صحيح، انطلاقًا من عدد الروابط الهيدروجينية H بين ثنائيات A=T وG≡C، إلى الملاءمة الدقيقة للجزيئات بين الشريطين المشكلين للحلزون المزدوج.

أنزيم إنقاذي آخر رائع

لكن توجد على الأقل مشكلة محتملة أخرى قد تهدم المنطق الرائع للشفرة الوراثية للحياة. مركب السيتوزين (C) غير مستقر مقارنة بالأسس الأخرى، يتحلل بمرور الوقت بسبب زمرة الأمين. وماذا سيتشكل عندما يتحلل؟ يتشكل الأساس يوراسيل U. لكن هذا التحلل سوف يفسد المعلومات بإنشاء أسس يوراسيل U دخيلة في الشريط الوراثي، لا يجب أن تكون موجودة. ولأن الحمض الريبي النووي RNA يُستهلك سريعًا ويعاد تدويره داخل الخلية، فهو مُحصَّن ضد مشكلة الشيخوخة. لكن الحمض النووي DNA ذا العمر الطويل لا يمكنه استعمال U. وهكذا دون تبديل U إلى T، وكذلك إصلاح U بردِّه إلى C، فإن هذا التفكك للسيتوزين C وتحوله إلى اليوراسيل U سيكون كارثيًّا على الحياة.

وبسبب هذا التحلل من C إلى U، كان على الحمض النووي DNA أن يجد بديلًا عن اليوراسيل U. إن تدهور C إلى «U دخيل» سيكون كارثيًّا إن بقي في الحمض النووي DNA. يجب إعادة تحويل U الدخيل إلى C. فيتدخل إنزيم غليكوسيلاز يوراسيل DNA[١٦]، وهو إنزيم صيانة مجهز خصيصًا لتصحيح ما قد يغدو خطأً برمجيًّا قاتلًا. يعمل هذا الإنزيم الرائع على إصلاح جميع أشكال U إلى C. فيصحح هذا الإنزيم أخطاء تفكك C إلى U، ولكن

تخيل «سيناريو مبالغ فيه» يعمل فيه نظام الصيانة جيدًا، ولكن الحمض النووي DNA يستخدم U بدلًا من استخدام T. وهكذا فإن إنزيم الصيانة الذي لا يعرف الفرق بين U الأصيل والدخيل، سيصلح بشكل كارثي كل أسس U لتصبح C، بما في ذلك الأسس التي كان من المفترض أصلًا أن تكون U (فعليًا لا يوجد U في DNA إلا كمنتج تدرك C؛ والكلام هنا عن حالة افتراضية مخالفة للواقع - المترجم). لذلك فإن كلًّا من عملية تبديل U إلى T في «الدنا DNA»، وآلية تصحيح U الدخيل إلى C، ضروريتان معًا للحفاظ على المعلومات في الحمض النووي DNA.

تقوم آلية التصحيح هذه بفحص الحمض النووي DNA، والكشف عن كل أساس U دخيل، واستبداله بالسيتوزين C. يتحلل السيتوزين إلى يوراسيل بمعدل ألف إلى عشرة آلاف مرة في اليوم - وهذا فقط في خلية واحدة. لكنه لا يفلت من إنزيم غليكوسيلاز يوراسيل الحمض النووي DNA، الذي يعيد الحمض النووي DNA إلى تسلسله الأصلي والسليم[١٧]. آلية تصحيح U إلى C هي عمل عبقري خالص.

لا يعد تبديل U إلى T ميزة جيدة فحسب، ولكنه يمثل وظيفة ضرورية يجب أن تكون موجودة منذ البداية. (إذا تم «بناء» الحمض النووي باستخدام اليوراسيل UU، فسيختلط اليوراسيل U الخاص به مع اليوراسيل U الدخيل المتكونة من شيخوخة أسس السيتوزين Cs. فإن وجد صدفة أنزيم غليكوسيلاز الحمض النووي DNA، فلن يكون له أي فائدة، لأنه سيقوم باستبدال جميع أسس اليوراسيل U ويضع سيتوزين C بدلًا عنها، ويخرب بسرعة المعلومات الموجودة في الحمض النووي). هذه الخدعة الكيميائية المدهشة هي عائق لا يمكن التغلب عليه في التطور غير الموجه.

خذ على سبيل المثال النظرية الشائعة لأصل الحياة: عالم الحمض الريبي النووي RNA. بدأت الحياة في هذه النظرية بوجود الرناRNA،[١٨] والتي أعطت الحمض النووي DNA في مرحلة ما واستبدلته بنفسها. ولكن لنفترض أن الحمض النووي DNA الأوليّ قد صنع من قبل أسس الحمض الريبي النووي RNA ذاتها (والسكر ذاته)، باستعمال اليوراسيل U

(والريبوز السليم)، فسيخضع DNA الأوليّ للتحلل المائي بسرعة كبيرة للغاية، وسيحدث فيه تفكك C إلى U بما يفسد الحمض النووي DNA. حتى لو حدثت صدف جيدة ومعجزة لتبديل U إلى T، فإن الحمض النووي DNA حديث التشكل الذي أنشأه RNA سوف يفتقر إلى آلية الإصلاح الإنزيمي لتحويل كل U الدخيل إلى C، مما يؤدي إلى هلاك الحياة الأولية بسرعة.

دون وجود الجيل الثاني. لن يوجد انتقاء طبيعي. فبناء الحمض النووي DNA هو مسألة كل شيء، أو لا شيء.

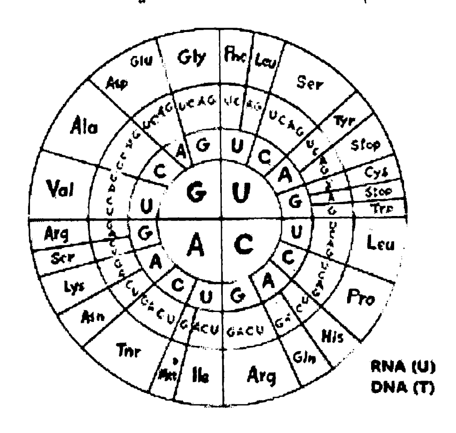
قد يحصل التطور في مرحلة ما بضربة حظ سعيد واحدة غير محتملة. ولكن ما احتمال حدوث ضربتين متزامنتين في وقت واحد بحسن الطالع؟ يبدو هذا بعيد المنال جدًا. هناك حاجة إلى العديد من ضربات الحظ الجيد معًا: شاردة الفوسفات PO_4^{3-}، والسكر المناسب (ريبوز)، والأسس الآزوتية الصحيحة ATGC، وتبديل U إلى T، وتبديل H/ OH، والتجانس المرآتي (homochiral) للريبوز المُيمَّن D.

التكرار الوراثي

مصطلح «الشيفرة الوراثية» يدل بالإضافة إلى تسلسل الحمض النووي DNA المحتوي على معلومات اصطناع البروتينات كلها، فقد يعني أيضًا مجموعة القوانين التي تطابق الحمض الأميني مع ثلاثية محددة من الحمض النووي DNA (مزيج من ثلاثة نيوكليوتيدات تسمى «رامزة codon» «تسلسل معلومات النظام الجيني»). تتميز الشيفرة الوراثية بهذا المعنى الثاني بسمة أخرى من سمات البصيرة والهندسة المتقنة: إنه التكرار redundancy.

هذا التكرار ممكن نظرًا للهندسة الأساسية للشفرة الوراثية، فيمكن أن تكون «الأحرف» الثلاثة في ثلاثي النوكليوتيد من تسلسل أي أربعة أحرف مختلفة، مما ينتج إجمالي الاحتمالات ٤ × ٤ × ٤ - أربعة وستون كلها معًا. فهنالك أربعة وستون احتمالًا مقابل عشرين حمضًا أمينيًا فقط. وهذا يترك مجالًا واسعًا للتكرار المحتمل. بعبارة أخرى يمكن ترميز أكثر من مجموعة مكوَّنة من ثلاثة أحرف لحمض أميني معين، وهذا ما نجده في الواقع.

في البداية فُسِّر هذا «التكرار» بأنه أثر غير فعال لعملية التطور، أو خطأ عشوائي أحيانًا. اعتقد العلماء في البداية أن هناك حاجة إلى ٢٠ رامزة فقط للأحماض الأمينية، بالإضافة إلى رامزتين للإشارة إلى بداية وتوقف عملية تركيب البروتين (وتسمى «الترجمة»). منذ ذلك الحين، اكتشفنا أن التكرار أمر حيوي بالفعل. تقلل الزيادة المفرطة الظاهرة من أخطاء القراءة، ونقل الأخطاء بحيث يتم نقل الحمض الأميني نفسه إلى كل جيل.



الشكل 3.3: الشفرة الوراثية مع «التكرار» لأربعة وستين رامزة لعشرين من الأحماض الأمينية. يستخدم الحمض الريبي النووي RNA اليوراسيل (U) بينما يستخدم الحمض النووي DNA التايمين (T).

ولكن عند التحري الدقيق نجد أن التكرار في حد ذاته ليس عشوائيًّا، نظرًا لأنه ينطوي على تغييرات أساسية في الحرف الثالث من كل ثلاثية. على سبيل المثال، يحتوي الغليسين، وهو أبسط حمض أميني، على أربع شيفرات تحدده: GGA وGGC وGGG وGGT. والموضع الوحيد الذي يختلف هو الموضع الثالث، وأي نوكليوتيد في هذا الموضع سيحدد الغليسين. (هناك تأثيرات بيولوجية أخرى ممكنة، على سبيل المثال، التأثيرات على سرعة اصطناع البروتين وطيه. انظر أدناه).

التغيرات في الحرفين الأول والثاني أقل شيوعًا، ويقابلها التعبير عن الأحماض الأمينية ذات الخصائص المتشابهة كيميائيًّا والتي لا تغير بنية وخصائص البروتين النهائي بشكل كبير. على سبيل المثال، يصبح كود CTT الذي يرمز إلى الليوسين مشابها كيميائيًّا للإيزوليوسين

عند استبدال C ب A في (ATT). مثل هذه التكرار ينشئ عازلًا كيميائيًّا بين الأحماض الأمينية عندما تحدث أخطاء شائعة. أي: إن شيفرة الحياة تحتوي على ضمانات في داخلها ضد الأخطاء المطبعية الجينية المحتملة.

لكن هذا ليس هو الغرض الوحيد من التكرار في شيفرتنا الوراثية[١٩]. إذ يسمح استخدام روامز (الكودونات) المختلفة للتعبير عن حمض أميني واحد أيضًا بالتحكم في سرعة تركيب البروتين. على سبيل المثال، قد تحدد أربعة أكواد مختلفة الأحماض الأمينية ذاتها، لكن الأربعة تختلف تأثيراتها من حيث سرعة تكوين الرابطة أو بطؤها، وكذلك تأثيرها على تطوي البروتين[٢٠]. يمنح هذا التحكم الحركي لكل بروتين الزمن الدقيق الذي يحتاجه لتكوين الشكل ثلاثي الأبعاد الصحيح.

توجد فروق دقيقة أخرى في الشيفرة الوراثية تدلنا على «البصيرة»، مثل تجميع روامز الأحماض الأمينية إما مع السلاسل الجانبية الحمضية أو القلوية[٢١]. وهكذا إذا كانت المحفزات البيئية تتطلب استبدال حمض أميني قلوي (أساسي) مقابل حمض أميني حمضي في بروتين ما، يُدعم التبديل من تجميع الروامز هذا. ونقول مرة أخرى: يا لها من خدعة كيميائية رائعة! على سبيل المثال، يمكن بسهولة تغير الليسين الأساسي التفاعل المشفر بواسطة AAA أو AAG إلى حمض الجلوتاميك الحمضي التفاعل عبر استبدال حرف واحد فقط: GAA أو GAG. وجود مثل هذا الرمز المرن يساعد الكائن للبقاء على قيد الحياة.

كما تتوقع تملك الشيفرة ضمانات ضد طفرات النقطة الواحدة الأكثر شيوعًا. على سبيل المثال، يتم ترميز اللوسين بما لا يقل عن ستة روامز. تقوم الرامزة CTT بترميز اللوسين، لكن جميع أشكال طفرة الحروف الثالثة – CTC وCTA وCTG – هي «مرادفات» وترمّز اللوسين أيضًا.

طفرات الحرف الأول هي الأكثر ندرة، وربما تكون الأكثر خطورة، لأنها تغير الحمض الأميني المحدد، إذا تم استبدال C إلى T في رامزة اللوسين فشكل رامزة TTT، فسيعبر بالتالي عن حمض أميني مختلف (فينيل ألانين). ولكن حتى بالنسبة لهذا، فإن الشفرة الوراثية لها

حماية: الخواص الكيميائية للفينيل ألانين تشبه اللوسين، لذلك سيظل البروتين محتفظًا بشكله ووظائفه. إذا تم استبدال الحرف الأول C في CTT (اللوسين) بـ A أو G، فسيحدث شيء مشابه، لأن ATT (الإيزوليوسين) وGTT (الفالين) لهما خصائص فيزيائية كيميائية مشابهة للوسين أيضًا.

مُنحت جائزة نوبل للكيمياء لعام ٢٠١٥م إلى توماس ليندال Tomas Lindahl وبول مودريتش Paul Modrich وعزيز سانكار Aziz Sancar «لتحديدهم على المستوى الجزيئي كيفية إصلاح الخلايا للحمض النووي DNA التالف وحماية المعلومات الوراثية»[٢٢].

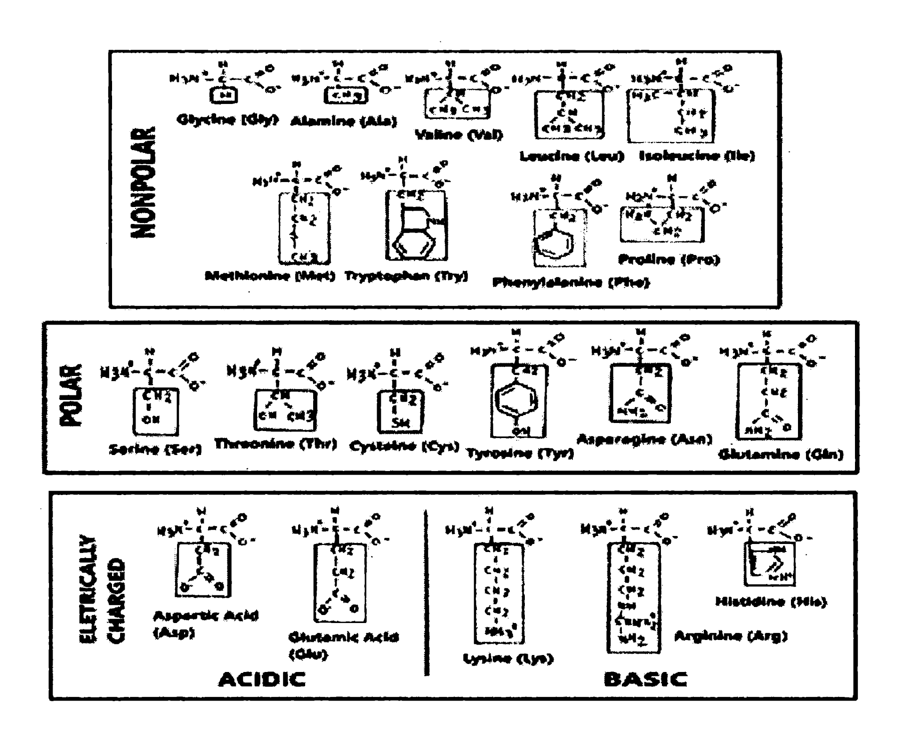
وأُعطيت جائزة نوبل لعام ٢٠١٦م إلى جان بيير سوفاج Jean-Pierre Sauvage، والسيد ج. فريزر ستودارت J. Fraser Stoddart، وبرنارد إل فيرينجا Bernard L. Feringa «لتصميم وتركيب آلات جزيئية»، بما في ذلك «رافعة ضئيلة، وعضلات اصطناعية، ومحركات صغيرة minuscule motors»[٢٣]، بمعنى أن هؤلاء العلماء الستة اكتشفوا آليات تصحيح الخطأ في الحمض النووي DNA وأنتجوا آلات نانوية، مثل تلك التي تعمل على إصلاح تدهور C إلى U في الحمض النووي DNA. استغرق كشف هذه العمليات ستة من أكثر العقول تألقًا في الكيمياء، إلى جانب جيش من مجموعات بحثية أخرى، كدحت طوال عقود لوضع الأساس لهذه الاختراقات.

هذه الجولة من البحث والتطوير الهندسي تستحق تمامًا جائزتي نوبل متتابعتين. فهل يجب علينا إذن تصديق أن الأعجوبة الهندسية التي اكتشفها هؤلاء العلماء اللامعين قد أنتجت نفسها عبر عملية عشوائية؟ إن احتاج اكتشاف وظيفة هذه الأعجوبة الهندسية إلى عبقري، فكم من العبقرية يلزم لإنشائها؟

تتفاقم مشكلة النظرية التطورية بحقيقة أن التطور لا يعمل إلا بخطوة واحدة في كل مرة. وبالتالي، ما الذي جاء أولًا، الحمض النووي DNA أم آلية تصحيحه؟ آلية التصحيح مرمَّزة في الحمض النووي DNA، ولكن لا يمكن للحمض النووي البقاء من جيل إلى جيل إلا بمساعدة آلية التصحيح. يبدو أنها مفارقة الدجاجة والبيضة بالنسبة للتطور.

استرات الأمينو والريبوزومات

تُستعمل الأبجدية المكونة من أربعة أحرف للحمض النووي DNA لإنشاء الأبجدية الكبيرة المكوَّنة من عشرين حرفًا من الأحماض الأمينية ألفا. تحتاج الحياة إلى هذه المجموعة المكونة من عشرين لبنة بناء لصنع بروتين وكل منها مميز عن الآخر، يجب أن تتفاعل هذه اللبنات الأساسية مع بعضها البعض لتكوين روابط كيميائية محددة تسمى روابط ببتيدية. لقد تعلم الكيميائيون استخدام هذا التفاعل لصنع بوليمرات مثل النايلون، استخدموا لها جزيئات $H_2N-(CH_2)_6-COOH$ كلبنات بناء محددة. يحدث التفاعل دون توجيه كثير لأن NH_2 لا خيار لديه سوى التفاعل مع COOH.



الشكل 3.4: الأحماض الأمينية العشرون α-L-Amino، المصممة ببراعة لتشكيل مجموعة شاملة، ولكنها مجموعة اقتصادية من لبنات بناء بروتينات الحياة، تعرض مجموعة من جميع القوى الجزيئية الرئيسية، من قوى تشتت لندن London dispersion forces في سلاسل الكربون غير القطبية، إلى الروابط الهيدروجينية H، والتجاذب الكهربائي بين الشحنات، فضلًا عن الخصائص الحمضية والقلوية.

ومع ذلك، فالأمر أكثر تعقيدًا بالنسبة للبروتينات، نظرًا لأن الأحماض الأمينية α تحتوي على ٢٠ سلسلة جانبية مختلفة (تدعى «مجموعات R»؛ انظر الشكل ٤ , ٣) متصلة بعمودها الفقري. كل بروتين هو بوليمير، أي: سلسلة مصنوعة من العديد من الوحدات الفرعية المرتبطة ببعضها مثل النايلون، ولكنها تتكون من الأحماض الأمينية. مجموعات الأحماض الأمينية R قد تسبب مشكلة خطيرة لعملية تركيب البروتين، لأنها تميل لأن تتفاعل مع نفسها، وتتفاعل مع مجموعات COOH وNH_2 للأحماض الأمينية ألفا الأخرى.

ومن ناحية أخرى عادة ما تكون تفاعلات البيتيد المرغوبة غير مؤاتية، وتتطلب تغييرًا إيجابيًّا في الطاقة الحرة (اختصارًا ΔG)[24]. وستتداخل جميع التفاعلات الجانبية الأخرى الممكنة مع تكوين بوليمير البروتين. إذًا كيف تتغلب الحياة على مشكلة المنافسة الشديدة هذه؟ تعتمد الحياة على خدعة كيميائية تستخدم غالبًا في الكيمياء الاصطناعية: هي الاشتقاق derivatization.

الكلام التالي اختصاصي جدًّا. لا تتردد في مراجعة الرسوم التوضيحية ببساطة ثم الانتقال إلى القائمة الموضحة في الفقرة الأخيرة من هذا القسم الفرعي.

الريبوزومات هي آلات كبيرة متعددة الجزيئات، تقوم بتصنيع البروتينات من الأحماض الأمينية في الخلايا الحية. ولكن قبل الانتقال إلى الريبوزوم، يتم تحويل كل حمض أميني ألفا إلى استر أميني، وهي عملية تسمى «الاشتقاق»، وترتبط بالحمض الريبي النووي الناقل (tRNA) بواسطة إنزيم تركيب t-RNA synthetase. يوجد لكل فرد من الأحماض الأمينية حمض ريبي نووي ناقل، وإنزيم خاص لتركيب الحمض الريبي النووي الناقل t-RNA synthetase. وكان ممكنًا حدوث التنافس نتيجة تفاعلات R مع R أو حتى تفاعلات R مع NH_2 أو R مع COOH، وهي تفاعلات أكثر ملائمة طاقيًّا، وقد تخرب عملية تركيب البروتين لولا وجود الريبوزوم ribosome.

وهذا ما يحدث خلال عملية الترجمة، يتم ربط الأحماض الأمينية α بالرنا الناقل t-RNA الخاص بها بواسطة إنزيم تركيب t-RNA الخاص بها أيضًا. وفي عملية أنيقة ومبدعة

للغاية تبدأ فسفرة الإسترات الأمينية أولًا بواسطة ATP، ثم تتشكل إسترات أمينية مرتبطة بـ t-RNA عبر تفاعل ناقل للأسترة.

لضمان حدوث التفاعل المرغوب بين NH_2 وCOOH، يتم أسترة الأحماض الأمينية أولًا (مما يجعل تكوين الرابطة الكيميائية أسهل)، ثم يتم تجميعها بواسطة أيدٍ ميكانيكية للريبوزوم، مع الاحتفاظ بها في الموضع الصحيح لمنع حدوث تفاعلات R منافسة، ولتوفير الطاقة اللازمة لتشكيل الرابطة.

ونقول مرة أخرى: لا يبدو أن التفاعل الذي يقوده الريبوزوم ميزة قد تكتسبها الحياة تدريجيًّا، عن طريق التجربة والخطأ. من الناحية الكيميائية يستحيل إنتاج بروتين وظيفي دون الريبوزومات التي قد حَلَّت بالفعل مشكلة التفاعل التنافسي، أو دون مجموعة العشرين حمض ريبي نووي ناقل tRNA، وأنزيماتها التركيبية، التي ستغذيها بالإسترات الأمينية. كما هو الحال في العديد من الحالات الأخرى مع الخلية وشيفرتها، إذا لم يتم التنبؤ بهذه الحاجة والتخطيط لها، فلن توجد خلية على الإطلاق.

الخلاصة: الراموز والمبرمجون

لنعد الآن خطوة للوراء ونراجع، مع التركيز فقط على الحمض النووي DNA. إن الحمض النووي DNA، بفضل بِنيته الحلزونية المزدوجة، هو الأكثر كفاءة، والأكثر حماية، والأفضل ضبطًا من حيث الاستقرار الكيميائي، وهو أكثر أشكال تخزين المعلومات شيوعًا على الكوكب. كيف شكلت هذه الأعجوبة الجزيئية المثالية، البالغ طوله حوالي مترين، ويحوي ٣,٢ مليار قطعة (في الإنسان) دون أن يطلب منه ذلك أحد؟

تجهل الخلية أن سكر الريبوز هو السكر الوحيد الذي سيؤدي الوظيفة، أو أنها تحتاج إلى نسخ سكر ريبوز مُيمَّن سليم فقط لتستخدم في الحمض النووي الريبي (RNA)، ويلزمها في DNA الريبوز المُيمَّن منقوص الأكسجين فقط، أو أنه يلزمها تبديل T/U بين الحمضين النوويين، أو وجود أربع أسس آزوتية ذات تركيبات وأحجام مثالية، أو سلك مستقر ووقائي

من شاردة الفوسفات لبناء الشريط الوراثي، أو لزوم الدرع الكهربائي، وأكثر من ذلك. إنها تحتوي على كل هذه الأشياء، التي يجب أن توجد منذ وُجدت الخلية الأولى فعلًا.

بعد أن درس هذه الأدلة الفيلسوفُ الملحد الشهير أنتوني فلو الذي آمن بالله في وقت متأخر من حياته، خلص إلى أن «خمسين عامًا من أبحاث الحمض النووي DNA قدمت مادة لحجة جديدة وقوية جدًّا للتصميم»[٢٥].

أنشئت شفرة مورس من قبل عقل ذكي، هو صمويل ف. ب. مورس Samuel F. B. Morse. واخترع الباركود اللامع نورمان جوزيف وودلاند Norman Joseph Woodland، ووضع كود أسكي ASCII المفكر المبدع روبرت بيمير Robert Bemer. للرموز دائمًا صانعي شيفرات.

إن كلًّا من الحمض النووي DNA، والحمض النووي الريبي RNA، والشيفرة الوراثية (بمعنى التسلسلات اللازمة لتركيب البروتين) هي أمثلة رائعة عن «البصيرة»، في هيكلها المنسق، والصيانة، وخطط الدعم. اقترح فرانسيس كريك Francis Crick، أحد المشاركين في اكتشاف الحلزون المزدوج، سيناريو «حادث متجمد frozen accident» لتطوير الشفرة الوراثية[٢٦]. لكنه لم يستطع ملء جميع التفاصيل الكثيرة لهذا الحادث الافتراضي، وبعد خمسين عامًا، لا تزال التفسيرات الطبيعية لأصل شيفرة الحياة غير مقنعة.

تتجاوز الشفرة الوراثية أي رمز بشري في تطوره وقدراته. يجب أن يكون هذا بحد ذاته كافيًا لتوضيح إمكانية وجود البصيرة والتصميم.

ويوجد المزيد كما تبين إذ لا يمكن للشفرة الوراثية قراءة نفسها أو تنفيذ التعليمات التي تحملها. وللقيام بذلك نحتاج إلى حلول معقدة أخرى. وقد استقصينا في الفصل التالي تلك الحيل الإضافية.

الفصل الرابع
مساعدات الحياة

كما رأينا في الفصل الأخير، فإن شيفرة أو كود الحياة معقدة تعقيدًا مذهلًا، فلا بد أنها مصمَّمة بعناية لتعمل بصورة كاملة. لكن وجود كود أمرٌ غير كافٍ، فأنت تحتاج كثيرًا من المساعدات أيضًا. سنبحث في هذا الفصل بعض الآلات الجزيئية التي تساعد على تحول الدنا DNA إلى بروتينات، وتحول البروتينات إلى كائنات حية.

الأوبيرونات Operons

تحتاج الحياة منذ انطلاقتها وعملها لآلية تحكّم لإنتاج البروتينات الصحيحة في الوقت الملائم وبالتركيز الملائم. يلزم الخلايا القدرة على تشغيل التعبير الجيني وإيقافه لكي تستجيب للتغيرات البيئية. والبكتريا مثال جيد لهذا الاستجابة، فعندما تصادف بيئات متغيرة تُعبّر البكتيريا عن أنزيمات مختلفة (الأنزيمات هي نوع من البروتينات) حسب المغذيات المتوفرة. يمكن مثلًا أن توقف البكتيريا الجيناتِ التي تُعبر عن أنزيمات استقلاب اللاكتوز عندما لا تحتاج لها، ومن ثم تعود هذه الجينات للعمل عندما يصبح اللاكتوز (السكر الثنائي في حليب الثدي) فجأة هو المغذي الوحيد المتوفر. بل إن وُجد الغلوكوز (السكر المفضل) مع اللاكتوز، يمكن للبكتيريا أن تميز هذا التفصيل فتهضم الغلوكوز أولًا، قبل تشغيل جينات هضم اللاكتوز. يتم هذا التحكم عادة في البكتريا بوساطة **الأوبيرونات**.

تُنَظم عناقيد المورثات هذه معًا، وتتحكم بتصنيع البروتينات. فالجينات المطلوبة لاستعمال اللاكتوز كمصدر للطاقة، ينظمها أوبيرون اللاكتوز أو"lac operon". يتألف هذا الأوبيرون من ثلاثة جينات مجتمعة سويةً. يُرمز الجين الأول lacZ، لأنزيم يقسم اللاكتوز إلى غلوكوز وغالاكتوز (أنزيم بيتا-غالاكتوزيداز). يُرمز الجين الثاني lacY لبروتين بيرمياز مطلوب لتسهيل قبط الخلية للاكتوز. ويلزم الجين الثالث lacA لاستعمال سكاكر غالاكتوزيدية متشابهة. تُشَغل هذه الجينات وتُغلَق ترادفيًا، واحدًا بعد الآخر. ويسمح هذا التجميع الذكي للجينات تحت آلية تحكم مشتركة باستجابة سريعة من البكتيريا لتغير غذاءها عدة مرات في مسار حياتها[١].

يذكر هذا التنظيم حاليًا في كتاب البيولوجيا للمدارس الثانوية، لكن عندما حُللت الآلية في الستينيات، قدمت فعليًا أول فهم للتنظيم الجيني على المستوى الجزيئي، ونتيجة لذلك قدمت جوائز نوبل للباحثين. كانت خطوات التنظيم الجيني مذهلة حتى في أبسط الكائنات.

تشير الأدلة إلى أن الأوبيرونات قديمة، وأنها كانت دائمًا سمة للكروموزومات البكتيرية. وهذا التنظيم كان مفاجئًا من وجهة نظر داروينية: كيف أمكن أن تتطور الجينات عشوائيًا ثم توظَّف وتوضع إلى جانب بعضها البعض على الكروموزومات، وتجمع في أوبيرونات في وقت مبكر جدًا من تاريخ الحياة؟

يتألف الأوبيرون من مُشغل operator، ومحفز promoter، وجينات بنيوية structural genes. (حسب بعض الآراء يحوي الأوبيرون أيضًا جينًا منظمًا شديد الارتباط، وهو جين lacI في أوبيرون اللاكتوز lac[٢]). تُنتسخ هذه الجينات إلى رنا مرسال mRNA بوساطة البروتين المدعو رنا بوليمراز، والذي يبدأ عملية التعبير الجيني عادة بالارتباط بالمحفز. يتداخل المشغل الذي هو تسلسل مُنظِّم في الدنا DNA مع تسلسل المحفز. إذا ارتبط بروتين مثبط، مثل LacI، بالمُشغل، فسيمنع ارتباط إنزيم الرنا بوليمراز مع تسلسل المحفز. ويمنع هذا الارتباط بدوره الانتساخ (أي: التعبير الجيني) بحيث لا تُصنع منتجات الجين (مثل LacZ

أو LacY أو LacA) عند غياب اللاكتوز في البيئة، أو عند وجوده مع الغلوكوز. تضمن هذه الآلية الحفاظ على المصادر الخلوية عبر إتاحة التعبير الجيني في ظل الظروف الملائمة فقط.

فإذا وجدت حاجة فعلية للأنزيمات التي تنتجها الجينات البنيوية، سيُعطل المثبط (يزال من المشغل) مما يسمح بوصول الرنا بوليميراز إلى المحفز لبدء الانتساخ، وهو ما يعرف بطور الحثّ induction.

بمجرد بدء انتساخ الرنا المرسال في البكتيريا، حيث لا يوجد نواة، تستطيع الريبوزومات الركوب على الرنا المرسال وبدء صناعة البروتينات فورًا حتى قبل اكتمال الرنا المرسال. هذا الاقتران للانتساخ والترجمة في البكتيريا يعطيها أوقات استجابة قصيرة مذهلة للشروط البيئية المتغيرة. فعندما يصبح اللاكتوز متوفرًا فجأة، تنتقل بكتِريا E. coli بسرعة من امتلاك بضعة جزيئات فقط من LacZ (البيتا- غالاكتوزيداز) في السيتوبلاسما إلى أن يشكل هذا الإنزيم ١٥٪ من إجمالي بروتيناتها الخلوية.

يقدم جيمس شابيرو James Shapiro الملاحظة التالية في **مجلة جين** Gene:

تسمح سلسلة من تفاعلات جزيئية متداخلة جدًّا لخلايا E. coli بالتمييز بين سكرين وتنفيذ الخوارزمية غير البسيطة التالية: **إذا** كان اللاكتوز متوفرًا، **وإذا** كان الغلوكوز غير متوفرًا، **وإذا** أمكن أن تصنع الخلية بيتا-غالاكتوزيداز واللاكتوز بيرمياز، **عندها** تنسخ lacZYA من محفز lac[٣].

إذًا نجد أن E. coli تستعمل عبارات منطقية لاتخاذ القرارات، مثل العبارات المنطقية المستعملة في أكواد الحواسيب.

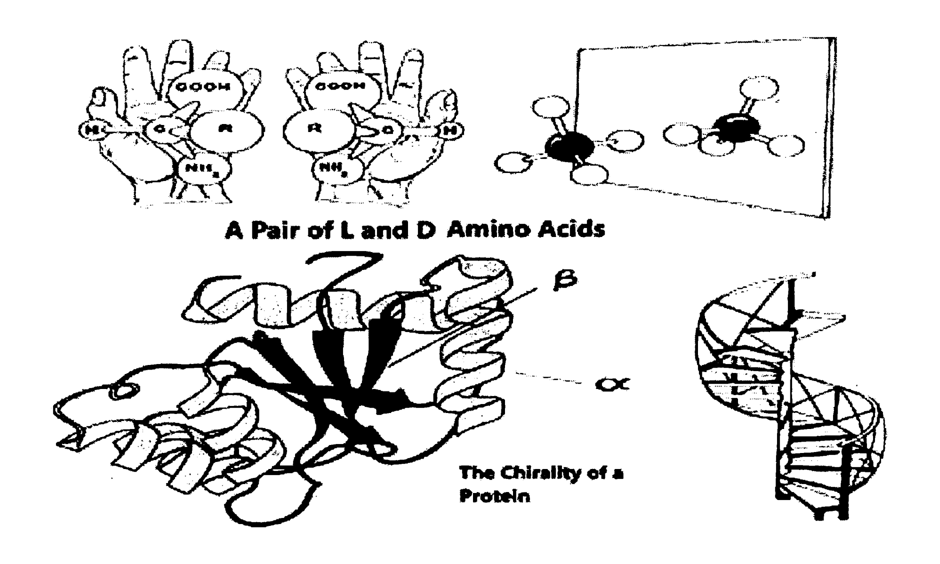
التجميع الصائب باعتماد يد واحدة فقط

البروتينات مصنوعة من حموض أمينية ألفا، تتفاعل مع بعضها لتشكيل مجموعة كبيرة من البوليمرات (البوليميرات؛ هي جزيئات كبيرة مؤلفة من الكثير من الوحدات المتشابهة). يجب أن تطوي معظم البروتينات نفسها إلى شكل وظيفي ثلاثي الأبعاد، فكيف يعرف بوليمير عديم العقل ما يجب فعله؟ إذا لم ينطوِ البروتين بصورة صحيحة، يمكن أن يصبح

مشوَّهًا ويتحطم. يتطلب الانطواء الملائم توازنًا معقدًا جدًّا للقوى داخل الجزيئة والقوى بين الجزيئات.

هناك حقل ألغام على طول الطريق لتخريب الخريطة المتقنة لطي البروتينات. لحسن الحظ تم توقع كل هذه الألغام وتعطيلها.

تأتي الحموض الأمينية (إذا تولدت «عشوائيًّا») في شكلين: يميني D ويساري L (انظر الشكل ١ , ٤) فيما يدعى بـ«مزيج راسيمي». المشكلة هي أن المزيج الراسيمي سيحدث فوضى في البنية ثلاثية الأبعاد للبروتين، فإذا كانت الخلية تستعمل كليهما، وليس مجموعة صافية من الحموض الأمينية اليسارية، أو مجموعة صافية من الحموض الأمينية اليمنية، فإنها لا تستطيع إنتاج بنية وظيفية ثلاثية الأبعاد لبروتين.



الشكل 4.1: تُستعمل الحموض الأمينية ألفا الميسرة فقط كمكعبات بناء في صنع البروتينات اللولبية المعقدة المنطوية ذاتيًّا التي تعد أساس الحياة. وذلك من حسن حظنا لأن مزيجًا من الحموض المُيسَّرة والمُيمَّنة لن يؤدي الغرض. من المثير للاهتمام أن القوى الكيميائية العمياء تميل لتنتج مزيجًا متساويًا تقريبًا من المُيمَّن والمُيسَّر، لكن بشكلٍ ما وُهبت الحياة حموضًا ميسرة فقط لتعمل بها. للحصول على كل الحموض يسارية، تحتاج كيميائيًّا حيويًّا موهوبًا أو خلية حية، لكن وفقًا للتطوريين، يفترض أن الحياة بدأت بدونها أيضًا.

أحد الحلول الممكنة لمشكلة المزيج D/ L هي ببرمجة تسلسلات دنا DNA لحموض أمينية خاصة بـ L أو خاصة بـ D. لكن هذه البرمجة الزائدة ستكون مكلفة بشكل هائل بسبب احتياج كودونات إضافية تغطي الحموض الأمينية المُيسَّرة L أو الحموض الأمينية المُيمَّنة D. تبدي الحياة حلًّا أكثر أناقة، وذلك بالبدء بحموض أمينية يسارية ١٠٠٪ - حالة تسمى التجانس المرآتي homochirality.

إذا بدأت الحياة بحساء بدائي، فهذا يعني أن الحموض الأمينية ألفا اليمينية أزيلت بطريقة ما من الحساء البدائي -أو أبقيت خارجه. كان هذا الحل ضربة معلم- وأكثر حظًّا لنا. بدون التجانس المرآتي للحموض الأمينية في الخلية، لن يكون البروتين الوظيفي صالحًا وستموت الخلية. بعبارة أدق، لن تدب الحياة في الخلية أبدًا.

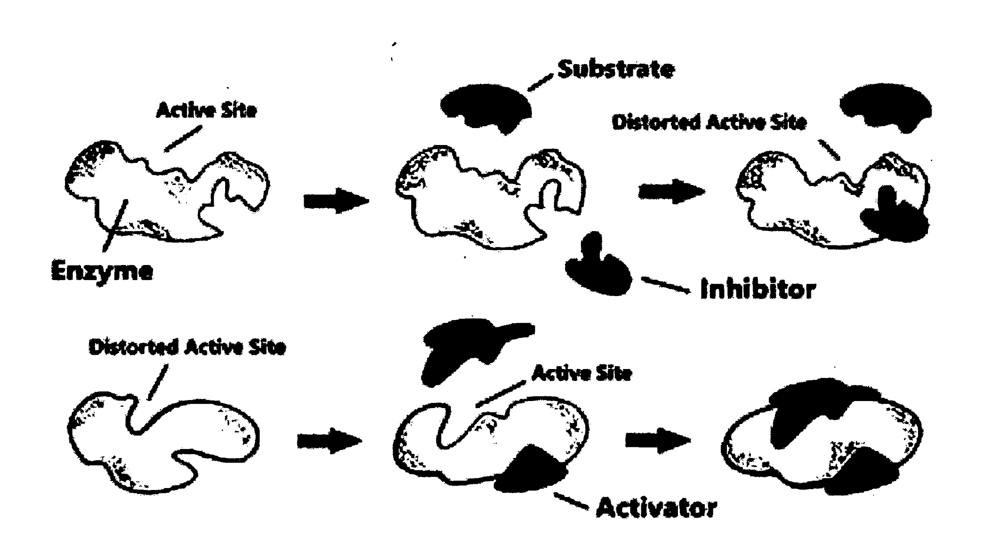
الأنـزيـمـات

تتطلب الحياة تنفيذًا سريعًا لتفاعلات كيميائية كثيرة جدًّا، تحصل باستمرار بسرعات كبيرة في جميع أنحاء خلايانا. لتحقيق ذلك، هناك آلات نانوية جزيئية ضرورية مذهلة: بروتينات تُعرف بالأنزيمات (الشكل ٢ , ٤). هذه العبقرية الجزيئية، محملة بتقانة كيميائية معقدة، أساسية لتسريع الكثير من التفاعلات الكيميائية للحياة. تفاعلات تستغرق دونها سنين لتحصل، فتحصل بمساعدة الأنزيمات في جزء من الثانية.

الأنزيمات محفزات، أي: إنها لا تُستهلك في التفاعلات التي تسرعها، لذا يمكن إعادة تدويرها واستعمالها في تفاعلات متعاقبة. يستطيع الأنزيم معالجة ملايين جزيئات الركازة في الثانية ويعمل عبر التلاعب بالكيمياء؛ وذلك بتخفيض طاقة التنشيط المطلوبة لتحويل الكواشف إلى المنتجات. تشير طاقة التنشيط إلى كمية الطاقة المطلوبة لكسر الروابط في جزيئات الكواشف لصنع روابط جديدة في جزيئات المنتج.

يجدر بنا التذكير: بأن الحياة على الأرض بالمحصلة لا تستطيع انتظار الأنزيمات كي تظهر. دون وجود أنزيمات، لن توجد تفاعلات سريعة، لن توجد حياة. معظم التفاعلات

الكيميائية الحيوية المطلوبة للحياة بطيئة بطبيعتها، بل بطيئة لدرجة مميتة. من المنطقي إذًا افتراض أنه تم توقعها وتسريعها بالأنزيمات قبل أن تبدأ الحياة.



الشكل 4.2: العمل المعقّد لأنزيم يسرع التفاعلات الكيميائية. تؤسر الجزيئة الهدف وتحاط بشكل ملائم ضمن الموقع الفعال للأنزيم ثم تتشكل الروابط الهدف أو تكسر. لا بد من ضبط الفعالية الأنزيمية بدقة لإعطاء نتائج ملائمة للحياة، ولحسن الحظ تملك الحياة سلسلة من مفعلات ومثبطات الأنزيمات لعمل ذلك.

تتكون العديد من الأنزيمات من سلسلة بروتينية واحدة، قد تكون معقدة جدًّا وتتكون من جزيئات هائلة غالبًا. الأنزيمات المقترنة فئة شائعة أخرى من الأنزيمات، تتألف من قسم بروتيني معروف بصميم الأنزيم apoenzyme، وعوامل متممة cofactors غير عضوية مثل أيونات الحديد أو المغنزيوم أو الزنك و/أو عوامل متممة عضوية مثل الفيتامينات ومشتقاتها. تزيد هذه الأنزيمات المقترنة من تعقيد النظام الأنزيمي، مما يؤدي إلى تنوع أكبر في الوظائف والبِنى. كما أن هناك أنزيمات أخرى مؤلفة من عدة وحدات، كلٌّ منها بروتين مفرد يساهم في وظيفة الأنزيم. تُجري الوحدات أحيانًا خطوات تفاعل متعددة، وتسلم

الوسائط من موقع تفاعل إلى موقع التفاعل التالي بشكل سريع جدًّا، مثل البطاطا الساخنة بحيث لا تتخرب الوسائط قبل حصول الخطوة التالية.

الأنزيمات فعالة جدًّا لكنها لا تعمل جيدًا إلا إذا ضُبطت درجة حرارة الوسط، وحصل توازن لدرجة الحموضة pH، وكانت الركازة بالتركيز الصحيح. يتمسخ الأنزيم -أي: يفقد شكله الوظيفي ثلاثي الأبعاد- في درجات حرارة وpH منخفضة جدًّا أو مرتفعة جدًّا. وتتطلب عدة أنزيمات أساسية للحياة بيئات كيميائية مضبوطة بشدة، ولا تعمل بشكل ملائم إلا في خلايا كاملة وظيفية. تفرض هذه الأنزيمات داخل الخلوية مشكلة أخرى على نمط مفارقة الدجاجة والبيضة: دون خلية، لا توجد أنزيمات. ودون أنزيمات، لا توجد خلية.

أرأيت المعضلة؟ الأنزيمات، التي هي نفسها أعمال مذهلة بتعقيدها الهندسي، تحتاج إلى خلايا متشكلة بشكل كامل تتصف بالوظيفية لتبقى على قيد الحياة. ولكن الخلايا تحتاج إلى أنزيمات فعالة بشكل كامل لتبقى على قيد الحياة. إذًا لا بد من وجود كليهما عند البداية. لا يمكن أن يظهر أحدهما إلى الوجود بمعجزة ما نتيجة الصدفة، ومن يظهر الآخر بعد زمن للوجود بضربة حظ مشابهة متوقعًا أن الأول ما زال ينتظره. سيكون الأول ميتًا قبل وقت طويل من وصول الثاني، وعندما يموت الأول فرحلة الثاني قصيرة جدًّا في بركة داروين الدافئة الصغيرة.

للأنزيمات أيضًا ديناميكيات داخلية مذهلة، ديناميكيات تمليها رقصة باليه داخل جزيئية مضبوطة ضبطًا دقيقًا. يتضمن هذا الباليه المتزامن حركة الأجزاء البروتينية، كل شيء من الأشياء الصغيرة جدًّا مثل الحموض الأمينية المفردة أو مجموعات الحموض الأمينية إلى عروة من السلسلة البروتينية أو قطع من السلسلة البروتينية ذات أشكال معينة ثلاثية الأبعاد تدعى بحلزونات ألفا وصفائح بيتا (الشكل ١ , ٤)، انتهاءً بمجالات بروتينية كاملة. تقود هذه الحركات القوى داخل الجزيئية المضبوطة بدقة، وتحصل في زمن قصير يقدر بكوادريلليونات من الثانية (الكوادرليون quadrillion هو ١ متبوعًا بـ ١٥ صفرًا – أي: ألف ترليون). لا تعمل الأنزيمات فقط على وضع الركازات بشكل صحيح في الفراغ ثلاثي الأبعاد

لجعل تفاعلها ممكنًا، بل وتحركها أيضًا باستعمال اهتزازات دقيقة لإحداث الهيئات الملائمة.

إن استعراض بضعة أمثلة عن الأنزيمات يكشف مدى أهميتها للحياة. فيساعد أنزيم الرنا بوليميراز مثلًا في نسخ الدنا DNA إلى رنا RNA. أما أنزيم تركيب الأمينوأسيل-رنا ناقل، فيضع الحمض الأميني الملائم مع الرنا الناقل الملائم، مما يسمح للريبوزومات بالعمل بشكل صحيح. وهكذا دون أنزيمات، لا توجد حياة. ودون حياة، لا توجد أنزيمات.

إذًا أراد أحدهم تصميم أنزيم فعّال من الصفر، تصور كمية المعرفة المسبقة المطلوبة. عليك أن تفهم الهدف النهائي، وتعرف مسبقًا شكل الركازة، قبل أن تستطيع خلق تجويف ملائم في الأنزيم حيث تنطبق الركازة (الشكل ٢ , ٤). ستحتاج معرفة المجموعات الوظيفية في الركازة التي يحتاج أن يثبتها الأنزيم في موقعه الفعّال (باستعمال تآثرات داخل الجزيئات وبين الجزيئات مثل الروابط الهيدروجينية، والروابط القطبية). كما ستحتاج لمعرفة ما هي التفاعلات المطلوبة، وأين يجب أن يحصل هذا التفاعل لتفعيل الموقع الملائم من الجزيئة المثبتة. أخيرًا عليك معرفة كيف تحمي أنزيمك من التفاعلات المؤذية مع الركازة.

وكل هذا مجرد التحضير الأولي. ستحتاج بعد ذلك لمعرفة كيفية وضع «الأيدي» الجزيئية النانوية في أنزيمك لتحسن على سبيل المثال حلمهة ركازتك بتفاعلها مع جزيئة ماء أوصلتها إحدى هذه الأيدي.

من الصعب جدًّا وصف هذه العملية ناهيك عن التصميم الفعلي لجهاز يحققها. رغم ذلك يقوم الأنزيم بها تلقائيًّا مرة بعد أخرى، ويوصلها في الوقت الملائم.

هناك مخبر بدأ هذه العملية محاولًا صنع أنزيمات مصممة – مخبر ديفيد بيكر في جامعة واشنطن- اختاروا نوعًا من التفاعلات أرادوا عمله ثم بحثوا عن نوع الكيمياء التي يحتاجونها لعمله، ثم وجدوا أنزيمًا لديه موقع فعال أقرب ما يكون لما يحتاجون. ثم شغلوا في الحاسوب النمذجة التفاعلية من التغييرات لتسلسل الأنزيم وبنيته حتى اقتنعوا بأنهم وجودوا تسلسلًا أقرب ما يكون للأنزيم الوظيفي. ثم صنعوا واختبروا الأنزيم. وبعد جهود مضنية؛

اغسل واشطف وأعد عدة مرات. ونجحوا في إنشاء أنزيمات مصممة، لكن في آخر مرة اطلعت على هذا الأمر كانت الأنزيمات ذات فعالية منخفضة النوعية. لم تصل للفاعلية الطبيعية بعد.

العلماء ووسائل الإعلام متحمسون حول إمكانيات توظيف الذكاء في معالجة مشكلة تصميم الأنزيم. بالعمل من افتراض أن الأنزيمات هي نتاج عمليات تطورية يقول بيكر: «هناك الكثير من الأشياء التي أتت بها الطبيعة عن طريق العبث العشوائي فقط». ثم يضيف: «المفروض أنه كلما فهمنا المزيد والمزيد عن المبادئ الأساسية، فلا بد أن نتمكن من صنع نسخ أفضل منها بكثير»[٤]. سنرى. إنه اختبار عكسي للتصميم الذكي، ألا ترى ذلك؟[٥].

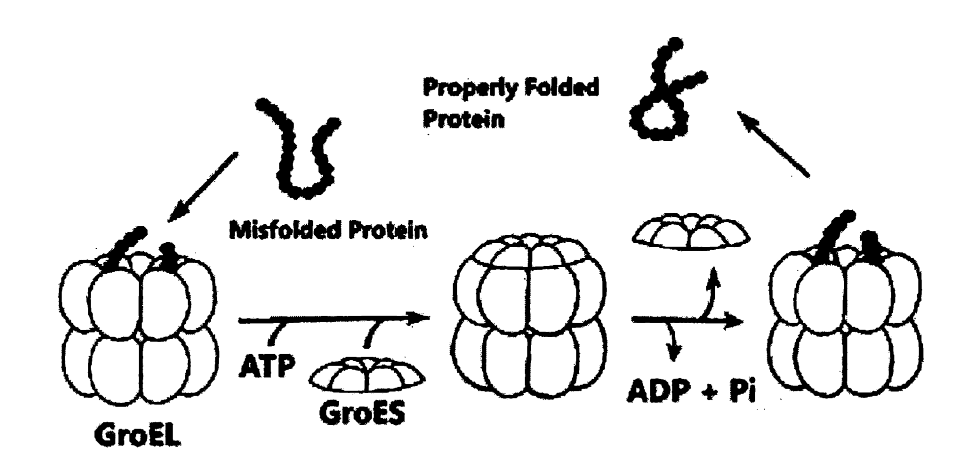
الشابيرونات والشابيرونينات Chaperones and Chaperonins

البروتينات أعمال إعجازية من الهندسة النانوية الكيميائية، لكن لكي تؤدي هذه الجزيئات الحيوية العملاقة وظيفتها لا بد من أن تتخذ السلاسل الخطية من الحموض الأمينية ألفا اليسارية أشكالًا خاصة ثلاثية الأبعاد. عندما تأخذ البروتينات أشكالها النهائية، تطوي نفسها بفضل القوى داخل الجزيئية العديدة المتوازنة جيدًا. لكن هناك الكثير من الأشكال ثلاثية الأبعاد الممكنة، وقد تضل البروتينات سبيلها. الشكل الوظيفي النهائي هو حالة التشكل التي تملك أدنى طاقة حرة، لكن قد يصعب إيجادها أحيانًا. فإذا انطوى البروتين بالشكل الخاطئ، سيغدو عديم النفع. إذا سقطت البروتينات الأولى في أودية الموت هذه، لن تظهر الحياة على وجه الأرض أبدًا. فماذا كان الحل؟ إنها الشابيرونات المذهلة (الشكل ٣, ٤). إليكم كيف وُصف دورها في مجلة **نيتشر**:

يجب أن تُطوى معظم البروتينات لتشكِّل بِنى ثلاثية الأبعاد محددة حتى تكتسب فعالية وظيفية. لكن في البيئة الخلوية، تكون البروتينات المصنَّعة حديثًا في خطر كبير للانطواء الشاذ والتكدس، مما قد يؤدي إلى جسيمات سامة. لتجنب هذه الأخطار، تستثمر الخلايا في شبكة معقدة من الشابيرونات الجزيئية، التي تستعمل آليات بارعة لمنع التكدس وتحفيز التطوّي

الفعال. ولأن الجزيئات البروتينية ديناميكية جدًّا، لا بد من رقابة شابيرونية مستمرة لضمان استتباب البروتينات proteostasis[٦].

تدعى الشابيرونات التي تساعد البروتينات على التطوي إلى شكلها الصحيح بـ«الشابيرونينات» لكن كما سنرى بعد قليل، تنجز الشابيرونات وظائف أخرى أيضًا. وكما يقول المؤلفون في دراسة أخرى: «عند المستوى الأكثر أساسية، تحدد التفاعلات الجزيئية الحيوية الحياة، وشابيرونات البروتين قد صُممت للإشراف على هذه التفاعلات»[٧].



الشكل 4.3: الشابيرونات (بما فيها الشابيرونينات) هي «المعالجات الفيزيائية للحياة» تساعد «البروتينات الوليدة» لتحصل على شكلها. فما الذي أتى أولًا: البروتينات التي تحتاج شابيرونات لتنطوي بصورة صحيحة، أم الشابيرونات التي تساعد على تطوي البروتينات بصورة صحيحة وسريعة؟

التطوّي العفوي سريع جدًّا (أجزاء من الثانية إلى ثواني) بالنسبة للعديد من البروتينات، لكن كثيرًا من البروتينات الكبيرة الهامة تفشل في إيجاد الشكل الصحيح بنفسها دون مساعدة، وعندها تتحول إلى مجرد فضلات جزيئية. عند تشكيل معقد بروتيني أيضًا، يبقى البروتين في شكله الخاطئ إذا فشل في إيجاد وحيدة تشاركه. لا بد من حصول الكثير من الأمور بشكل صحيح في البروتين ليأخذ شكله الوظيفي ثلاثي الأبعاد.

إنّ البروتينات المطواة بشكل صحيح أساسية للحياة لأنها تنجز معظم الوظائف الضرورية للخلية. توجد أنواع مختلفة من الشابيرونات لتساعد على تطوي أنواع مختلفة من البروتينات. أحد الأمثلة هو الشابيرون HPS70 الذي وصفه الكيميائي الحيوي لورنس كوران على أنه يرتبط بـ«المناطق الكارهة للماء من البروتين المتطوي ويمنعه من التجمع مع البروتينات الأخرى المتطوية جزئيًّا ويقوده إلى البنية النهائية»[٨].

باختصار، تتفادى الشابيرونات سوء الانطواء وبالتالي فهي أساسية في تصنيع البروتينات. تختلف طرق تحكمها بانطواء البروتينات من بروتين لآخر. تساعد بعض الشابيرونات على انطواء سلاسل حموض أمينية معينة وهي ما تزال تبنى في الريبوزومات. أما الشابيرونات بعد الترجمة فتقوم بهذا العمل للبروتينات الأخرى بعد اكتمال الترجمة. يُبطِّئ أحد الشابيرونات وهو العامل تريغر Trigger Factor الانطواء غير الملائم للسلاسل الحمضية الأمينية، بل قد يفك انطواء سلاسل حمضية أمينية بعد انطوائها بشكل خاطئ.

تحتاج العديد من البروتينات إلى الشابيرونات لتنطوي بسرعة وبشكل صحيح. بدلًا من التجمع الذاتي العفوي نجد تجمعًا مُسَاعدًا. وحتى بعد انطواء البروتينات بصحة، تساعد الشابيرونات في المحافظة على حالاتها الوظيفية، بعملية تدعى استتباب البروتينات proteostasis[٩].

هذا العمل لا غنى عنه. فالبروتينات سيئة الانطواء ليست عديمة الفائدة فقط بل هي مهلكة. ترتبط سطوحها الكارهة للماء المكشوفة مع بعضها البعض مؤدية إلى بدء تكدس البروتينات سيئة الانطواء على بعضها. في بعض الأمراض البشرية الموروثة، يمكن أن تسبب هذه التكدسات من البروتينات سيئة الانطواء أعراضًا شديدة تصل حتى الموت. الشابيرونات قادرة عادة على منع هذه التكدسات البروتينية فترتبط بالسطوح الكارهة للماء المكشوفة باستعمال سطوحها الكارهة للماء نفسها. فعادةً ما تكشف البروتينات غير المطوية بشكل صحيح عن رقع من الحموض الأمينية الكارهة للماء على سطوحها، في حين تكون هذه الحموض الأمينية الكارهة للماء مدفونة في داخل البروتينات المطوية بصحة.

تتنافس هذه المنقذات للبروتين مع آلية أخرى في مهمة التنظيف. عند التعرف على رقعة كارهة للماء مكشوفة بشكل شاذ في بنية بروتين تضع هذه الآلية الثانية وسمًا على البروتين بحيث يُدمر بمجموعات من الأنزيمات الهاضمة للبروتين تدعى «البروتيوزومات proteasomes». إنّ الوظيفة الطبيعية للشابيرونات والبروتيوزومات تمنع ببراعة تكوم البروتينات الهاربة في الخلية.

وهنا تكمن الصدمة. من أجل أن تعمل الخلايا بشكل صحيح، فإن الشابيرونات أساسية لتطوي بروتينات الخلية الأساسية والمحافظة عليها[10]. وبالإضافة للمساعدة على الانطواء، تساعد الشابيرونات أيضًا في ظروف الإجهاد الخلوي. مثلًا، تُرجع ما يعرف بشابيرونات بروتينات الصدمة الحرارية HPSs البروتينات الأخرى التي تضررت بالصدمة الحرارية إلى شكلها الأصلي. فدون الشابيرونات لا توجد حياة. ورغم ذلك فإن الشابيرونات نفسها مصنوعة من بروتينات، ولا بد أن تنطوي بشكل ملائم، وتتم المحافظة عليها من قبل أنواع أخرى من الشابيرونات[11]. من وجهة نظر سيناريوهات نشأة الحياة التي تخلو من اعتبار البصيرة والتصميم، فإنها مشكلة صعبة جدًّا تشبه مفارقة الدجاجة والبيضة.

يخالف في الرأي لورنس موران Laurence Moran المذكور آنفًا، أستاذ في الكيمياء الحيوية في جامعة تورنتو:

كل الشابيرونات الشائعة تنطوي عفويًا دون مساعدة أي شابيرونات أخرى. سبب تسميتها بروتينات «الصدمة الحرارية» هو أن تصنيعها يتحرض عندما تصادف الخلايا درجة حرارة عالية أو شروطًا أخرى يمكن أن تسبب فك انطواء البروتينات أو قلة ثباتها. تُصنع هذه الشابيرونات المنقذة بكميات كبيرة في ظل هذه الشروط للمساعدة على الوقاية من تدمير البروتينات الخلوية الطبيعية. إذا فهمت هذا فستفهم أن الشابيرونات نفسها قادرة على الانطواء عفويًا[12].

يعاكس تصور موران عن الشابيرونات بأنها سريعًا وبسهولة «تنطوي دون مساعدة أي من الشابيرونات الأخرى» تعليق عن هذا الموضوع من قبل بير هامارستورم Per

Hammarström، أستاذ في قسم الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا في جامعة لينكوبينغ Linköping، في السويد. هامارستورم مؤلف مشارك في مقالة عن انطواء الشابيرونات في مجلة البيولوجيا الكيميائية. تتناول هذه الورقة العلمية بروتينين شابيرون يسميان GroES وGroEL وكلاهما بروتين صدمة حرارية، يتفاعلان استجابة للإجهاد، ويعملان معًا للمساعدة في انطواء أو إعادة انطواء البروتينات. وقد أظهرا بأنهما يتآثران مع ما يصل إلى ٣٠٪ من بروتينات الخلية، فأهميتهما حقيقية. يشكلان معًا بنية بشكل البرميل، مع كون GroEL الجزء الأساسي من البرميل وGroES الغطاء. تدخل البروتينات غير المطوية البرميل وبعد عدة دورات من الارتباط والتحرر، تنطلق إلى السيتوبلاسما بشكل مطوي.

استجابة لسؤال مطروح على موقع ريسيرش غيت Research Gate حول انطواء الشابيرونات، أشار هامارستورم إلى أننا «أثبتنا حديثًا بأن GroES الشابيرون المشارك يساعد في انطواء GroEL على الأرجح». يشير هذا التعليق مع دراسته السابقة المنشورة في **نيتشر**[١٣] إلى أن الشابيرونات تعمل بالفعل كشابيرونات للشابيرونات الأخرى – GroES يساعد على انطواء GroEL. كما تقول ورقة مجلة البيولوجيا الكيميائية بأن «ترجمة GroES وGroEL وبالتالي التصنيع البروتيني لهما، منظمة مكانيًّا تبعًا للترتيب الجيني. بالتالي سيصنع GroES أولًا مسهلًا تآثره مع GroEL المتشكل لاحقًا. فمن المثير للاهتمام القول بأن GroEL هو ركازة لـ GroES»[١٤]. أي: إن GroES يعمل على GroEL.

الخلاصة، ربما يكون وجود GroES ضروريًّا للمساعدة على انطواء GroEL المتشكل حديثًا، ومن ثم يعملان سويةً للمساعدة في انطواء البروتينات الأساسية الأخرى.

المهارة الصادمة لبروتينات الصدمة الحرارية

يشير بروس ألبيرت Bruce Alberts وزملاؤه إلى أن بروتينات الصدمة الحرارية هذه «تُصنع بكميات متزايدة بشكل هائل بعد تعرض الخلايا لدرجة حرارة مرتفعة لفترة قصيرة». مثلًا درجة الحرارة المثالية للخلايا البشرية هي ٩٨,٦° فهرنهايت لكن إذا عرضت إلى درجة حرارة أكثر من ذلك بـ ٨ أو ٩ درجات فإنها تعاني صدمة حرارية. يعكس هذا الأمر عمل نظام

الارتجاع feedback الذي «يستجيب لزيادة البروتينات سيئة الانطواء... بتعزيز تصنيع الشابيرونات التي تساعد هذه البروتينات على إعادة الانطواء الصحيح»[١٥].

كما يشرح ف. أورليش هارتل F. Ulrich Hartl وزملاؤه شابيرونات HSP70 «هي آلات جزيئية متعددة المكونات تعزز الانطواء عبر دورات ارتباط وتحرير منظمة بالـ ATP والعوامل المساعدة». شابيرونات HSP70 نفسها مُنظمة ببروتينات عامل التبادل النوكليوتيدي nucleotide-exchange factor، وببروتينات من عائلة HSP40[١٦]. أما البروتينات التي تعجز عن الانطواء بشكل ملائم رغم مساعدة هذه الشابيرونات، فتعالج بالمعالجين الفيزيائيين الأقسى في الحياة: الشابيرونينات chaperonins، «وهي معقدات مضاعفة الحلقة كبيرة تشبه القفص... تؤدي عملها بالإحاطة الكاملة ببروتينات الركازة... لتطويها». تعمل الشابيرونينات كنوع من الحواجز. كتب هارتل وزملاؤه «تسمح الشابيرونينات الأسطوانية بانطواء جزيئات بروتينية مفردة محاطة في قفص»، «يعمل النظامان بشكل متتابع، حيث تتفاعل HSP70 في البداية مع عديدات الببتيدات الوليدة والمصنعة حديثًا، وتعمل الشابيرونينات لاحقًا في الانطواء النهائي للبروتينات التي تفشل في الوصول إلى الحالة الطبيعية بدورات HSP70 وحدها»[١٧].

يجب أن نسأل لصالح العلم إذًا: هل يمكن أن ينشأ هذا النظام المذهل والمتنوع جدًّا في التعرف على الخطأ وتصحيحه، والذي يتضمن مجموعة كبيرة من الجزيئات الكبروية الانتقائية جدًّا والمعقدة، من عملية طبيعية عمياء غير مرشدة؟ أجاب الداروينيون بصوت عالٍ: «نعم» و«شرحوا» ظهور الشابيرونات بالارتكاز على قصص طفولية غامضة. لكن هذه القصص فقيرة بالتفاصيل النوعية لتطور هذه العجائب التقنية النانوية عبر خطوات طفرية مفردة متوالية.

خذ مثلًا الاقتراح التالي من موران، الذي كتب مقالة عن الشابيرونات بعنوان «انطواء البروتينات، والشابيرونات، والحمقى IDiots». (الكلمة الأخيرة في العنوان طعن موجه إلى أنصار التصميم الذكي ID)

في البداية لن نحتاج الشابيرونات لأن كل بروتين ينطوي بسرعة بذاته. قد تكون بعض هذه البروتينات البدائية بطيئة الانطواء، لذا كان تطور الشابيرونات الأولى مفيدًا لأنه يحسن سرعة انطواء هذه البروتينات. لم تكن الشابيرونات ضرورة مطلقة للبقاء على قيد الحياة لكنها حملت فائدة انتقائية للخلايا التي امتلكتها.

بمجرد وجود الشابيرونات، أمكن تطور بروتينات جديدة كانت ستكون بطيئة الانطواء جدًّا في غياب الشابيرونات. ثم راكمت الخلايا مع مرور الزمن المزيد والمزيد من هذه البروتينات بطيئة التطوي بحيث لا يمكن أن تبقى خلية حية دون شابيرونات[١٨].

يتعثر تفسير موران عن الشابيرونات بأخطاء كيميائية حيوية واضحة. العديد من الوظائف الأساسية للحياة، وظائف لا بد أن تملكها كل أشكال الحياة، تتطلب بروتينات تنطوي بمساعدة الشابيرونات. وسّعت الاكتشافات الحديثة الأدوار الأساسية لبيولوجيا الشابيرونات. «هناك عدد من الاكتشافات الحديثة» ذكر آر. أي. كوينلان R. A. Quinlan وآر. جي. إليس R. J. Ellis، «يمتد مجال بيولوجيا الشابيرونات المهمل نسبيًّا ليشمل استتباب البروتينات، والمحافظة على الكمون المؤكسد-المرجع الخلوي، والثباتية الجينومية، والتنظيم الانتساخي، وديناميكيات الجدار الخلوي»[١٩]. هذه العمليات أساسية للحياة. كما يقول كوينلان وإليس: «تقف الشابيرونات في تقاطع طرق الحياة والموت، لأنها تتواسط الوظائف الأساسية للحياة، ليس فقط خلال الأوقات السيئة لكن أيضًا في الأوقات الجيدة»[٢٠].

ففرص إمكانية وجود الحياة ببروتينات منطوية ذاتيًّا فرصٌ تتضاءل إلى حد التلاشي. ستكون هذه البروتينات قليلة جدًّا، وقد وجد أن الحياة تتطلب مئات البروتينات المعبر عنها بـ ٢٥٠ جين أساسي على الأقل – ١٠٠٠ أو أكثر إذا اعتبرنا بواقعية شكل حياة مستقل بشكل كامل[٢١]. احتمال أن تنطوي مئات البروتينات الأساسية كلها ذاتيًا وبالشكل الصحيح والسرعة الملائمة دون أخطاء، أمرٌ يصادر على المطلوب عند العقلاء. فالتكدسات السامة من

البروتينات عديمة الفائدة سيئة الانطواء، أسهل تشكلًا بكثيرٍ إلى درجة فلكية مقارنة بالبروتينات الوظيفية.

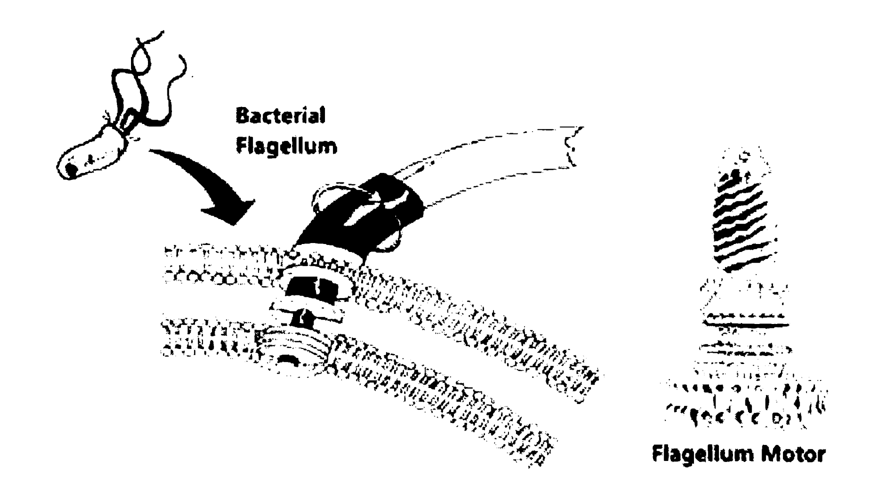
بل حتى إن أمكن تشكل بروتينات وظيفية بضربة حظ نادرة، فستستغرق وقتًا طويلًا جدًّا، ولن توجد فرصة ذات مغزى أمام أنماط البروتينات المختلفة المطلوبة لتشكُّل حياة كائن وحيد خلية قابل للعيش؛ أي: الالتقاء في المكان نفسه للتجمع في كيان كلي يؤدي وظيفته. ستموت كل البروتينات التي جاءت بمعجزة سريعًا بمفردها قبل أن تجد البروتينات الأخرى. دون شابيرونات لن توجد خلايا قابلة للحياة.

تفسير موران هو مثال لما أشير إليه بالمغالطة التطورية أي: «لماذا دون كيف». من السهل تفسير فائدة سمة ما (لماذا)، أما الـ «كيف»، مع الآليات الموافقة والمسار التطوري المفصَّل بالمستوى الجزيئي فهو متجاهل كليًّا أو بشكل كبير. تفشل هذه «التفسيرات» في اعتبار المخاطرة الكبيرة وصعوبات مثل هذه القفزة التطورية. بالنسبة لموران، ظهور الشابيرونات يبرره ببساطة الفائدةُ التي تجلبها. لكن موران بعدم تقديمه مسارًا تطوريًا معقولًا، فشل في تفسير، **كيف**، أمكن أن تتطور مثل هذه السمة كيميائيًّا حيويًّا.

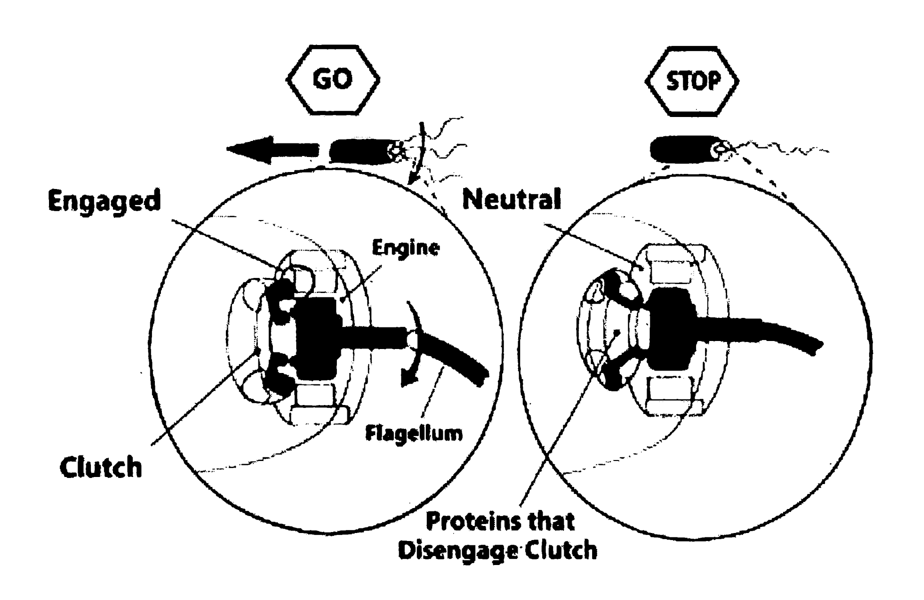
القبعات الليفية السوطية

الحياة مليئة بمشاكل لا بد من حلها، وطرق حلها مذهلة. هناك العديد من المعجزات الجزيئية التي تجعلنا نقف ونفكر. خذ مثلًا المشكلة التي يجب أن تحلها البكتريا البسيطة، ألا وهي الانتقال إلى وجبتها التالية. كان الحل لبكتيريا العصية القولونية *E. coli*، والعديد من البكتيريا الأخرى، هو بناء الأسواط البكتيرية **flagella**.

جذب عالم الكيمياء الحيوية مايكل بيهي الانتباه الشعبي إلى محرك السوط البكتيري (والذي يمثل آلة نانوية مذهلة (الشكل ٤ , ٤) كتحدٍّ للنظرية التطورية المعاصرة. مهما كانت آراؤك عن ذلك التفسير، فهناك أمر واحد لا خلاف عليه: السوط البكتيري أعجوبة هندسية نانوية من الدرجة الأولى.



الشكل 4.4: تفاصيل المحركِ السوطي، الذي يراه البعض المحرك الأكثر إذهالًا على وجه الأرض.



الشكل 4.5: جهاز التعشيق المذهل على المحرك السوطي.

المحرك السوطي مكون من أربعين إلى خمسين معقدًا بروتينيًّا، والتي تتطلب في كلٍ منها ملايين الذرات. كل هذه الملايين الكثيرة من الذرات منظمة بإتقان لصنع المحرك السوطي وذيله. آلافٌ وآلاف من الحموض الأمينية المنظمة بإبداع، وتعاقب في السلاسل الحمضية الأمينية ألفا- الميسرة لهذه البروتينات تخضع إلى توازن نانومتري تامٍ من القوى داخل الجزيئات وبين الجزيئات، وذلك للانطواء بشكلٍ ملائم والتلاؤم معًا بأسلوب متناغم.

تعمل هذه القطع الجزيئية النانوية ذات البِنى ثلاثية الأبعاد المثالية وتبدو كالدوارات والأعمدة المحركة والستاتورات stators والحلقة الدائرية والمفاصل والمروحة وحتى قضيب التعشيق clutch.

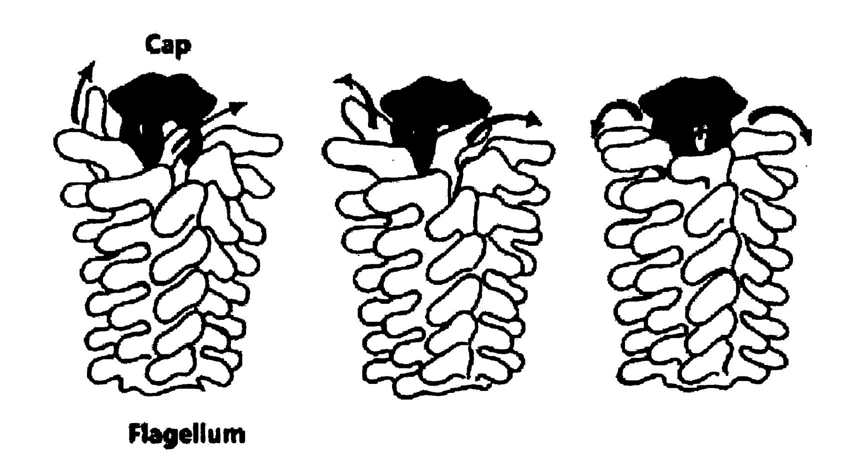
سمعنا في مكان آخر عن دقة تعقيدات أجزاء المحرك ووظائفه، وهناك المزيد أيضًا عن هذه القصة حول التحكم العام بتجميعه أكثر من الوقت المتاح لدينا لكتابته هنا. لكن يبرز أحد تفاصيل البنية السوطية: وهو انضفار الأسلاك البروتينية الأربعة التي تكون خيطه (الشكل ٦ , ٤). قد يكون الخيط السوطي، الذي يعمل كمروحة، أطول من الخلية نفسها بعشرة أضعاف. وهو تجميع مرتب جيدًا طويل حلزوني ولولبي ذو أنبوب مجوف بقطر عشرين نانومتر. يُصنع من بروتين السوطين flagellin المرتب في خيوط حلزونية مفردة، والتي تلتف حول بعضها مثل الخيوط في الحبل لتشكيل ضفيرة.

يُظهر هذا الخيط بالمجمل شكلًا حلزونيًّا مرنًا نسبيًّا، مثل لولب مُمتَد يدفع البكتيريا للأمام عند دورانه. كما يذكر كوجي يونيكورا Koji Yonekura وساوري ماكي يونيكورا Saori Maki–Yonekura وكيشي نامبا Keiichi Namba، تتألف البِنى النبيبية من «أحد عشر خيطًا بدئيًّا protofilaments، والتي تُكَوّن مصفوفة حلزونية طولانية من الوحدات الفرعية»[٢٢]. وهذا ليس إلا غيض من فيض التعقيد الموجود. كيف تجمّع شيء كهذا في المقام الأول؟

ناهيك عن سؤال نشأتها في الماضي، يكفينا ذهولًا فهم كيفية تجمع آلة السباحة المذهلة هذه نفسها في الحاضر. ففروع الأسلاك المتروكة لوحدها تصبح كتلة متشابكة مثل سماعات الهاتف المحمول في أسفل حقيبة ظهر. لمنع هذه الفوضى، يملك السوط غطاءً ثلاثي

الأبعاد، قالبًا جزيئيًّا نانويًّا مذهلًا (الشكل ٥ , ٤). هذا الدليل النانوي الجزيئي المقولب بمثالية، مع «صفيحته المُشكلة بشكل خماسي وامتداداته المشابهة للسيقان المصنوعة بدقة»، كما يصفه أحد الكتاب يعمل «كمحفز دوار للتجمع الذاتي للموحودات monomers السوطية»[٢٣]، فيرشد بشكل مثالي الانزلاق المتزامن للأسلاك عبره.

هذا البروتين المُغطي، عندما يعمل، يجلس على قمة ليف سوطي مجوف ويرشد تجمعه باستعمال خمسة مجالات لامتدادته، تشير إلى الأسفل وتتلاءم ضمن التجاويف المتوضعة على القمة البعيدة للخيط المتشكل[٢٤]. يجعل هذا التشابك الذيل النهائي قويًّا ومقاومًا ومثاليًّا، لكن كيف ينمو هذا السلك المثالي؟ في قاعدة السوط، يضخ نظام إفراز من النمط الثالث الموحودات السوطية (الأسلاك الجزيئية النانوية) داخل الذيل، الذي ما زال في طور التشكل. وكل سلك فرعي سوطي مُركَّب مسبقًا يدفع السلك الجديد إلى القالب البروتين الجزيئي، فاتلًا إياه بالوضع المثالي خلال نمو الذيل.



الشكل 4.6: الغطاء المعقَّد والمصمَّم بعناية والذي يرشد التجميع الطويل الحلزوني اللولبي لأسلاك بروتين السوطين، جاعلة إياهم ملتفة على بعضها البعض لتشكيل ليف سوطي شبيه بالجديلة.

يجب أن تتحرك العديد من البكتيريا لإيجاد الغذاء. فالسوط بالنسبة لها ضروري للبقاء على قيد الحياة. تطوير سوط ليس مسألة صغيرة. في كتاب **صندوق داروين الأسود** (مترجم للعربية)، يرى مايكل بيهي أنه لم يمكن أن يتطور بطفرة عشوائية مفردة تتراكم تدريجيًّا لأنه ليس هناك مسار تطوري قادر على البقاء على قيد الحياة. المشكلة كما يطرحها؛ تعقيد غير قابل للاختزال. يجادل التطوريون[٢٥] بأن محرك السوط المعقد تعقيدًا غير قابل للاختزال قد نشأ خطوة خطوة، ويستحضرون مختلف التفسيرات الداروينية غير التصميمية لكن جميع سيناريوهاتهم فقيرة بالتفاصيل.

لكن ربما يُشكل بروتين الغطاء التحدي الأكبر للملتزمين بالتطور الأعمى، لأنه يبدو أنه يخدم غرضًا واحدًا ضمن الخلية، ودون الموحودات السوطية التي يساعد على تجميعها ليس له أي فائدة. ودون هذا الغطاء لإرشاد تجميع السوط، فإن الموحودات السوطية ستكون عديمة الفائدة أيضًا[٢٦]، فأيهما تطور أولًا؟

إنَ نموذج تطور الخيار المشترك cooption model أشهر الاقتراحات التطورية، ويفترض استعمال أجزاء متوفرة مسبقًا لأنظمة أخرى مثل نظام الإفراز من النمط الثالث. يكتب البيولوجي كينيث ميلر «الأمر، الذي فهمه العلم منذ وقت طويل، هو أن قِطعًا وأجزاء من آلات التعقيد غير القابل للاختزال المفترضة ربما كان لديها وظائف مختلفة، لكن مازالت مفيدة... ينتج التطور آلات كيميائية حيوية معقدة بنسخ وتعديل ودمج بروتينات مستعملة سابقًا لوظائف أخرى»[٢٧].

لكن هذا «التفسير» لا يحوي أي كيمياء بل هو جرعة مكدسة من التشبيهات الخطابية والشكلية فقط. حجة ميلر في تطور الخيار المشترك معيبة لأن السوط ككل (وخاصة قطعة مثل الغطاء) يتطلب بصيرة. الطريقة الوحيدة لإنقاذ هذه الحجة هي بالاعتماد على مساعدة من نمط دارويني خيالي لإنجاز المهام الفائقة الجزيئية النانوية المجنونة من «نسخ وتعديل ودمج» كل الأجزاء الجزيئية وفعلها بالدقة الشديدة التي يتطلبها السوط.

رغم أن حجة ميلر اكتسبت بعض الجاذبية في البداية، إلا أنه من المعروف الآن، حتى مع افتراض أن النظرية التطورية المعاصرة حقيقة، أن أنظمة الإفراز من النمط الثالث إبداعات حديثة، مشتقة ربما من السياط المعقدة وليست أسلافًا للسياط. بالنسبة لتطور السوط، من الجدير اقتباس أحد علمائه البارزين، شين-إيتشي آيزاوا Shin-Ichi Aizawa. «بما أن السوط مصمم جيدًا ومبني بشكل جميل بطريق تجميع مرتب، حتى أنا، وأنا لست خلقيًّا، لدي شعور مذهل بجمالها (الإلهي)». ويكتب آيزاوا «لكن إذا تطور السوط من شكل بدائي، فأين بقايا سلفه؟ لماذا لا نرى أشكالًا أبسط من السياط الحالية؟ كيف كان ممكنًا تطور السياط دون ترك أثرٍ في التاريخ؟»[٢٨].

لطالما أذهلتني الآلات الجزيئية، وكلما درستها أكثر ذُهلت أكثر بالحلول المعقدة التي تمثلها هذه الآليات الدقيقة. وأصبحت مقتنعًا أيضًا بأن هذه الحلول تثبت أنه تم مسبقًا التعرف على المشاكل الهامة وقدمت لها الحلول. هذا الفعل الاستباقي -«البصيرة»- ليس سمة لعمليات مادية عمياء. إنما فعل ذكاء، يصدر عن عقل.

الفصل الخامس
الجراثيم والحشرات والنباتات المفترسة

إلى هنا نكون قد ألقينا نظرة على أمثلة تبين «البصيرة» التي تكتنفها الحياة الصغرى (أصغر أشكال الحياة) على الأرض: الخلايا مع الآلات الجزيئية المتناهية في الصغر التي تشغلها. ولكن الأمثلة الجميلة عن التخطيط لا تنحصر بالخلايا. فهي موجودة في كل أشكال الحياة، من أصغرها إلى أكبرها. سننظر في هذا الفصل في بعض أصغر الأحياء على سطح الأرض، وبعض أغرب نباتاتها، والتي لديها القدرة على توقع المشاكل وحلها بطرق إبداعية عديدة.

الجراثيم: مفارقة الدجاجة والبيضة مرة أخرى

كوكب الأرض مجهَّز بشكل بديع ليستضيف جميع أشكال الحياة الموجودة على سطحه. ولكن ظاهرة الحياة بحد ذاتها تسببُ مشاكلَ مهددة للحياة. على سبيل المثال، جزيء النيتروجين N_2 أو $N\equiv N$ هو الغاز الخامل المفضل لغلافنا الجوي. ولكننا نحتاج أيضًا لتوفر النيتروجين بأشكال أكثر تفاعلية، النتروجين الذري (N) لصنع الأحماض الأمينية (الصيغة العامة $RCHNH_2COOH$ والبروتينات. فكيف يمكن للجزيء $N\equiv N$ شديد الثبات المرتبط برابطة ثلاثية أن يتحول إلى شكله الذري الوليد N؟ كيف يمكن حفظه بأشكال

كيميائية مفيدة؟ وكيف يمكن أن يتجدد N_2؟ سينفد الإمداد من N_2 في نهاية المطاف نتيجة استهلاك الأحياء له بشكل مستمر. من هنا برزت الحاجة لاستعادة N_2 المُسْتَهلَك.

ما الحل؟ إنها الجراثيم:

تشاركنا الجراثيم أو البكتريا السكنى على كوكبنا، وتلعب دورًا مهمًّا في الحفاظ على الحياة على الأرض. تحافظ العوالق (البلانكتون) على دورة الكربون، وتوفر الطحالب أحادية الخلية المسماة الدياتومات diatoms خُمْسَ أوكسجين غلافنا الجوي. تحطم الجراثيم النتروجين N_2 وتثبته ضمن مركبات كالنشادر (أمونيا) NH_3، على اليابسة وفي المحيطات. تأخذ جراثيم أخرى النشادر NH_3 وتعيد تحويله إلى N_2 فيما يدعى دورة النيتروجين. أصغر وأدق الكائنات على وجه الأرض تبقي الأرض صالحة لنعيش عليها جميعًا.

الأوكسجين الحر O_2 والكربون الحر C أساسيان أيضًا لتكون الأرض صالحة للسكن، ولهما أيضًا دورات تجديد تعتمد على البكتريا، بالإضافة إلى النباتات. ينتج الكثير من الأوكسجين الحر O_2 على الأرض بالتركيب الضوئي الذي يتم في البكتريا ذاتية التغذية Autotrophs (تصنع ذاتيات التغذية جزيئات عضوية تحتوي على طاقة من جزيئات لاعضوية، أما مغايرات التغذية heterotrophs تستخدم الطعام الذي يأتيها من كائنات أخرى) تمتلك الجراثيم ذاتية التغذية القدرة على ربط النيتروجين في النشادر NH_3 ومركبات مفيدة أخرى بعد فك الرابطة الثلاثية بين ذرتي النيتروجين الجوي N_2. تحافظ هذه الجراثيم أيضًا على توازن العديد من عناصر الغلاف الجوي الأخرى. وبدون ذلك التوازن، لن توجد حياة معقدة. دون وجود البكتريا لن توجد حياة لبقية الأحياء.

أكسدة الأمونيوم اللاهوائية وكيمياؤها الصاروخية

غالبًا ما ينظر إلى البكتريا على أنها أشكال بدائية (رديمية) للحياة. ولكن نظرة واحدة على بنيتها الجزيئية تكفي لإقناعنا بعكس ذلك. فالبكتيريا متطورة للغاية، مجهزة بالكامل بالعديد من الآلات الجزيئية الرائعة.

تقدم إحدى المجموعات الجرثومية شديدة الغرابة والمكتشفة في مطلع التسعينيات من القرن العشرين، وتدعى البكتيريا المؤكسدة للأمونيوم لاهوائيًا anammox[٢]، مثالًا رائعًا (عظيمًا) عن الخصائص عالية التقنية للبكتيريا. بحسب لورا فان نفتريك Laura van Niftrik ومايك جيتن Mike Jetten، البكتيريا المؤكسدة للأمونيوم لاهوائيًا موجودة على نطاق بيئي واسع جدًّا (في مجموعة واسعة جدًّا من البيئات المختلفة)، بما فيها المناطق البحرية قليلة الأوكسجين، وفي محطات معالجة مياه الصرف الصحي، وفي الرواسب الساحلية وفي البحيرات[٣]. واتضح أن هذه الجراثيم مهمة للحياة على الأرض. ويقدر أنها تساهم بإنتاج ما يصل إلى ٥٠٪ من N_2 المنتج في البيئات البحرية[٤]، فتزيل النيتروجين المرتبط.

تسببت البكتريا المؤكسدة للأمونيوم لاهوائيًا بضجة علمية حقيقية عندما اكتُشفتْ. وهي تؤدي دورًا أساسيًّا في دورة النيتروجين الكيميائية الحيوية الأرضية (الدورة الكيميائية الحيوية للنيتروجين على الأرض)، واندهش العلماء كيف يمكن لجراثيم بسيطة كهذه أن تؤدي تفاعلًا كان يعتبر مستحيلًا فيما سبق[٥]. تحول الجراثيم المؤكسدة للأمونيوم لاهوائيًا النشادر NH_3 وNO_2^- إلى N_2 في ظروف لاهوائية. أي: بغياب الأوكسجين O_2. ولذلك يسمى التفاعل أكسدة الأمونيوم لاهوائيًا ANaerobic AMMonium Oxidation[٦]. لاحظ كلٌّ من فان نفتريك وجيتن أن الجراثيم المؤكسدة للأمونيوم لاهوائيًا لا تتطابق في خصائصها مع الخصائص النموذجية للبكتيريا، وإنما تتشارك في صفاتها مع المجالات الثلاثة للحياة؛ الجراثيم، وبدائيات النوى Archaea، وحقيقيات النوى Eukarya، مما يجعلها مثيرة للغاية من المنظور التطوري[٧]. وسأذهب أبعد من ذلك وأقول: إن وجود هذه الجراثيم الغريبة والمهمة هو في الحقيقة أمر يصعب تعليله من منظور تطوري.

كيف يمكن للجراثيم المؤكسدة للأمونيوم لاهوائيًا أن تنجز مهمتها التي لا غنى عنها في تعويض النيتروجين؟ إنها تستخدم علم الصواريخ وبعض المهارات التصنيعية العضوية المتطورة جدًّا.

تحتوي الجرثومة على عضية داخلية مغطاة بغشاء مزدوج الطبقة (ثنائي الطبقة)، ليس من الغريب على الإطلاق وجوده في خلايا أوليات النواة prokaryotic. المفاجأة العظيمة هو ما يوجد **داخل** هذه العضية. في الداخل وجد العلماء الهيدرازين hydrazine الذي له الكثير من الاستخدامات، بما فيها استخدامه وقودًا للصواريخ[٨]! فالجراثيم المؤكسدة للأمونيوم بطريقة ما تصنع وتخزن وتستخدم سائلًا متفجرًا مخربًا سامًّا جدًّا.

هل يمكنك تخيل مخلوق تطور شيئًا فشيئًا حتى تمكن من تخزين هذه المادة داخله؟ تخيل حدوث خطأ خلال محاولة تصنيع هيدرازين نقِي داخل الجراثيم. لن يستغرق الأمر كثيرًا من الوقت حتى يقتلها! كيف يمكن لجرثومة أن تطور طريقة لتصنيع الهيدرازين دون كل تلك التجهيزات اللازمة للتخزين والاستخدام الآمنين للهيدرازين؟

هل من المعقول أن تمتلك جرثومة تدريجيًّا القدرة على استخدام الهيدرازين النقي المتفجر السام، ومعالجته على خطوات متباعدة، وليس لديها أدنى توقع عن الفوائد المستقبلية لهذا السم؟ طلائع الجراثيم المؤكسدة للأمونيوم لاهوائيًا لم تكن تستخدم الهيدرازين سابقًا، واستطاعت البقاء على قيد الحياة بشكل جيد دونه، فما الذي يدفعها الآن لتخاطر بحياتها وتطور قدرة على إنتاج وتخزين الهيدرازين قبل أن تعرف طريقة صنعه جيدًا؟

مفاجأة أخرى هي أن جراثيم الأناموكس (المؤكسدة للأمونيوم لاهوائيًا) تخزن الهيدرازين في حجرات داخلية تدعى الجسيم الأناموكسومي anammoxosomes[٩]. من الواضح أن جراثيم الأناموكس يجب أن تمسك بهذا الجزيء المتفجر بعناية فائقة. بالتحليل الكيميائي والمجهري للغشاء ثنائي الطبقة للجسيم الأناموكسومي والذي يحتوي على الهيدرازين ظهرت مفاجأة أخرى: يحتوي الغشاء على دهون عجيبة وفريدة مصنوعة من مركبات السلالم (اللادرينات ladderanes)[١٠]. وهي بنى كيميائية متطورة لدرجة أن كثيرا من الكيميائيين الصناعيين لا يفكرون حتى بمحاولة صنعها.

مركب السلّم (اللادرين) النموذجي typical ladderane هو حمض خماسي الأناموكسي الحِلقي pentacycloanammoxic، والذي يتألف من خمسة حلقات متلاصقة من البوتان

الحلقي. تشبه السلم وتحتوي على بنى بشكل حلقات مربعة متسلسلة تتشكل من التحام أربعة حلقات كربونية. الحلقات المتسلسلة رباعية العناصر هي أحد أقوى الروابط على الإطلاق لأن تصنيعها يعاكس كل من الطاقة الحركية والترموديناميكية. لكن يبدو أن جراثيم الأناموكس قد تجاوزت ما هو معتاد في كل أصناف التصنيع العضوي، واتجهت مباشرة إلى بنائها على أي حال.

ولكن لماذا تبذل كل ذلك المجهود سُدى؟ يبدو أن جراثيم الأناموكس تقوم بكل ذلك المجهود لتستخدم الهيدرازين كعامل لتحويل النشادر NH_3 وأول أوكسيد النيتروجين NO_2^- إلى نيتروجين N_2 بغياب الأوكسجين O_2، والسؤال بالتالي: لماذا تصنع الجراثيم النيتروجين N_2، وهو غاز خامل تقريبًا وعديم النفع عمليًّا للحياة بشكله هذا؟ تعيش جراثيم الأناموكس في جميع أنحاء العالم، وتوجد بكثرة في المحيطات. وتتولى ببساطة هذه المهمة شبه المستحيلة لإنتاج N_2 ولكن بسبب هذا «الجهد الخيري (التطوعي)» فهي تنظم دورة الآزوت N_2 وتحافظ على نسبة N_2/ O_2 في الهواء الجوي[١١]. هذه الآلة النانوية الصغيرة تبقي النتروجين N_2 بالتوازن المطلوب لتعيش كل أشكال الحياة على كوكبنا. الخلاصة؛ إن هذه الجرثومة الصغيرة تستخدم علم الصواريخ[١٢] لتجعل الحياة على سطح الأرض ممكنة ومستدامة.

بدأنا لتوِّنا بفهم هذه الجراثيم الغريبة. لابد أن الآلية الإنزيمية التي يصنع بها الهيدرازين خارقة. كما وصفها أندرياس ديتل Andreas Dietl وزملاؤه: «هذه البنية البلورية لها آلية من خطوتين لتصنيع الهيدرازين: إرجاع ثلاث إلكترونات من أوكسيد الآزوت لتحويله إلى «الهيدروكسيل أمين hydroxylamine» عند الموقع الفعال للوحدة الفرعية غاما y ثم تكثيفه مع النشادر». ثم يسجل محررو مجلة **نيتشر** Nature أمرًا مثيلًا مفاجئًا أيضًا: «من المثير للاهتمام أن المخطط المقترح مماثل لطريقة راشينغ Raschig المستخدمة في صناعة الهيدرازين الصناعي»[١٣].

وهكذا نجد مرة أخرى أن اختراعاتنا محكمة التخطيط هي مجرد تتبع لخطوات الطبيعة. إن غاز النتروجين N_2 الذي يرافق الأوكسجين O_2 في غلافنا الجوي وهو أساسي للحياة على

الأرض، كما عبرت عنه مقالة أخرى: «ناتج ثانوي لآلة نانوية مصممة بإحكام منقطع النظير لها خبرة بكيمياء الأكسدة والإرجاع العضوي، وتختزن وقود الصواريخ بشكل آمن.»[١٤]

عالم الجراثيم يثبت المزيد من الإتقان الدقيق مع كل اكتشاف، ويظهر المزيد والمزيد من «المفاجآت»، وذلك دليل على «البصيرة». اكتشفنا مؤخرًا أعجوبة جرثومية أخرى: هي الكوماموكس comammox المبهمة أو «جراثيم الأكسدة التامة للنشادر»[١٥]. يمكن أن توجد هذه الجراثيم في كل مكان تقريبًا، وتقوم بعمل مذهل أكثر من الأناموكس. تقوم الكوماموكس بنترجة كاملة من تلقاء نفسها، وبذلك تشكّل حجر أساس علم الأحياء الدقيقة. من المعروف منذ فترة طويلة أن هناك نوعين مختلفين من الجراثيم المنترجة nitrification التي تتعاون في تنفيذ عملية النترجة حيث تؤكسد النشادر NH_3 إلى NO_2^- والذي يتأكسد لاحقًا إلى NO_3. ولكن الكوماموكس لا تبذل جهدًا في عملية النترجة. وإنما تحفز مرحلتي النترجة كليهما، لتقوم بعملية أكسدة كاملة للأمونيا وبالتالي تحافظ على الطاقة.

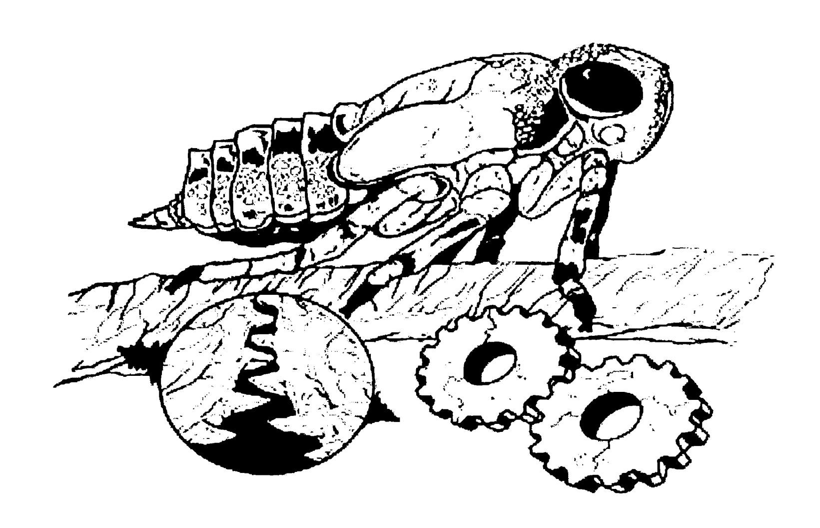
من الصعب تجنب النتائج المترتبة على كل هذا: فحاجة المحافظة على الغلاف الجوي ليلائم الحياة أمر يجب تقديره من البداية. ولذلك كان من اللازم توفير مجموعة من الميكروبات المجهزة بترسانة متطورة من المواد الكيميائية والقدرات لتلبية هذه الحاجة.

جنس الإيسوس: مخترعة المسننات؟

بالنسبة للحشرات غير الطيارة، تعتبر القدرة على القفز العالي والسريع وبدقة فائقة أمرًا أساسيًّا لبقائها. يتوجب على الحشرات غير الطيارة أن تكون قادرة على القفز منذ لحظة ولادتها لتتجنب الافتراس. فمن غير المفاجئ أن نقول إذًا أن تلك الحشرات الصغيرة هي من بين أفضل المخلوقات القافزة على هذا الكوكب.

ولكن جعل الحشرات الخفيفة ذات الأجسام الصغيرة قادرة على تحقيق قفزة كبيرة هو مشكلة هندسية كبيرة. ولجعل الأمر أكثر صعوبة، الحشرات لها أزواج من الأطراف (الأرجل)، لذا يتوجب أن تكون عملية القفز منسقة بدرجة عالية من الدقة، بحيث تدفعها

الأطراف للأمام مع بعضها البعض بأقل قدر من التأخير أو التبكير؛ فالمجال محدود جدًّا للتجربة والخطأ.



الشكل ١ , ٥: البارقة الحورائية، هي حشرات بحجم البرغوث من جنس الإيسوس، تستخدم مسننات مصممة بشكل هندسي رائع لمزامنة حركتها القفزية الرائعة الشبيهة بحركة المنجنيق.

كيف يمكن لهذه المخلوقات أن تدير ذلك؟ ما سنذكره هو استراتيجية خاصة خارجة عن المألوف كليًّا؟

درس عالمان حيويان (بيولوجيان) من جامعة كامبريدج هما مالكوم براوز Malcolm Burrows وجورجي سوتون Gregory Sutton حشرة صغيرة، هي البارقة الحورائية nymphalid planthopper من جنس الإيسوس Issus (الشكل ١ , ٥)، وهي مخلوق يتواجد في جميع أنحاء أوروبا وشمال إفريقيا. يظهر اكتشافهما وكأنه منتزع من صفحات مجلة «الميكانيك الشائع» في فقرة «ما هو الجديد». تقفز هذه الحشرة الصغيرة مستخدمة المسننات المتشابكة الموجودة على أذرعها الخلفية والتي تربط أطرافها مع الجزء الموافق لما يوازي الورك عند الحشرة[١٦].

باستخدام هذه التقنية المصغرة miniaturized، تستطيع هذه الحشرات الصغيرة التي بالكاد تفوق حجم البرغوث، تحريك أطرافها بتناسق شبه مثالي. لأن كلا ساقيها يتأرجحان وحشيًّا (نحو الخارج). فإذا امتدت إحداهما قبل الأخرى بجزء من الثانية، سينتهي المطاف بالحشرة بحركة دائرية لتصبح لقمة سائغة بفم المفترس. ولكن المسننات مصممة بدقة هندسية فائقة لتمكّن المخلوقات من القفز بسرعة واستقامة، ولمسافة بعيدة.

تتعشق هذه المسننات الآلية الجسدية وتدور بدقة عالية لتحقق تناسقًا في حركة الأطراف. يدور كل مسنن خلال ٣٠ جزءا بالمليون من الثانية بمعدل يزيد عن ٣٣ ألف دورة في الدقيقة RPM. مع العلم أن السيارات الرياضية الأعلى سرعة تصل إلى حوالي ١٠ آلاف دورة في الدقيقة.

تقوم هذه المسننات أيضًا بربط الأرجل بشكل متزامن قبل الشروع بالقفز إلى الأمام، وذلك بواسطة أسنان غير متناظرة asymmetric (وهي أفضل من الأسنان المتناظرة). أوضح براوز وسوتون أن التشابك الوثيق بين المسننات يضمن حركة الأرجل الخلفية بنفس السرعة الزاوية لدفع جسم الحشرة دون حدوث دوران منحرف yaw (دوران حول محور شاقولي)[٧]. يمكن لصغير الإيسوس القفز لمسافة تفوق طوله بمئة مرة وبسرعة تصل إلى ٣,٩ متر بالثانية.

ولكن هناك خطورة عالية أن يتعرض جهاز صغير كهذا للكسر نتيجة عمله بهذه السرعة العالية. لتجنب هذا الخطر، تستبدل بهذه المسننات مسننات أخرى بشكل دائم في الحشرة اليافعة. ويقول براوز وسوتون، تتجدد المسننات باستمرار في الإيسوس الفتية خلال مرحلة نموها وبالتالي إذا تأذى المسنن، فما عليها سوى أن تحاول النجاة بحياتها لفترة قصيرة ريثما ينتهي بناء زوج جديد سليم من المسننات.

بالنسبة للحشرة الفتية الأقوى (الأضخم أو الأثقل)، يستبدل بالمسننات جهاز أكثر قوة يتناسب مع الحجم الضخم للحشرة الفتية، بتقنية عالية الأداء تعتمد على الاحتكاك friction-based. وهذا أيضًا يُنبي عن «البصيرة».

في الوقت الحالي يبدو أن البارقة الحورائية الإيسوس الفتية هي المخلوق الوحيد الذي يستخدم المسننات الآلية المسننة المتشابكة لتحقيق تزامن دقيق في حركة أطرافها لتأمين قفزات لمسافات بعيدة. قبل هذا الاكتشاف، لم يكن من المعروف أن المسننات يمكنها تحقيق هذه الحركات القفزية لمستويات عالية. إذا كان التطور قد خلق بطريقة ما هذه المعجزة الهندسية فيبدو أنه قام بذلك لمرة واحدة فقط.

في البحث عن الأصل المتوقع لمسننات جنس الإيسوس، فكر سوتون بشكل صحيح بالخيارين الممكنين علميًّا، ولكنه بعد ذلك اختار الخيار الخطأ -الخيار الذي يفتقد القدرة على شرح معجزة هندسية كهذه-. كتب «المسننات لم تصمم وإنما تطورت، وتمثل آلية دقيقة عالية السرعة تطورت لتحقيق التزامن في عالم الحيوان»[18]. كالمعتاد في مثل هذه الادعاءات، لم يتبعها سرد لكيفية تمكن نظام قفز يعتمد على المسننات أن يُطور بخطوات صغيرة مفردة متتالية، وهو السبيل الأساسي إن أنتجها أحد أشكال التطور الدارويني الأعمى. ولكن لا توجد مشكلة. فمن المتوقع منا ظاهريًّا أن نتبنى هذا السيناريو كعقيدة ومبدأ ثابت.

لكن بدلًا من ذلك، دعنا نسير مع هذا الادعاء. لنفترض جدلًا أن الإيسوس وُجدت وكانت قابلة للعيش مدة كافية لتنجو من الانقراض دون الحاجة لتقنية الاحتكاك والمسنن الفتي. لماذا تخاطر بتطوير آليتي قفز جديدتين متميزتين. ونظرًا لأن التطور يسير بخطى صغيرة، فيجب أن يصنع في البداية نظام نقل حركة غير كامل أي الاحتكاك. وأفترض أنها بدلت الأشياء وأعطت مسننات نقل الحركة للحشرة البالغة وآلية الاحتكاك للحشرة اليافعة؟ ستختبر الإيسوس الطافرة هذه الوظيفة الجديدة لتكتشف أنها فشلت في أداء وظيفتها.

وحتى لو اختار التطور العمر الصحيح لكل وظيفة، فإن صغير الإيسوس سيكتشف أن المادة المصنوع منها المسنن الجديد ناعمة للغاية، أو أن عدد الأسنان أو الفراغات بينها غير صحيح، أو أن القفزة منحرفة كثيرًا نحو اليمين أو اليسار، مما يسبب نشوء حركة دورانية والخروج عن السيطرة والاصطدام. هناك العديد من الأشياء التي قد تسير بشكل خاطئ. نظام المسنن المعيب في هذه الحالة فاشل تمامًا.

ثم ما الذي جاء أولًا؟ المسننات للحشرات الشابة، أم نظام الاحتكاك المناسب أكثر للحشرة البالغة لجنس الإيسوس؟ ستحتاج لكليهما، لأن المخلوق سيحتاج دومًا أن يكون قادرًا على القفز لينجو بنفسه سواء أكان يافعًا أم بالغًا. يلزم التخطيط والتنفيذ لزوجين من أنظمة القفز التي ينبغي أن تكون مصممة بدقة فائقة من البداية -الأول للحشرة اليافعة والآخر للبالغة- أو قل وداعًا للحشرة الصغيرة.

ولا ريب أن مسننات جنس الإيسوس تقدم مثالًا على تقنية متقدمة. وهنالك دليل آخر لنؤكد النقطة الأولى: هناك مخاطر جمة تحيق بتقنية متطورة كهذه وتتطلب مسننات تدور ٣٣ ألف دورة في الدقيقة. إذا تأذى أي مسنن، سيخسر المسنن المصمَّم بدقة فعاليته. ولتقليل المخاطر، زُوِّدت هذه الأسنان التي لا تتجاوز سماكتها ثمانية أجزاء بالمليون من الميليمتر بانحناءات مخططة في قاعدتها. وقد اخترع الإنسان مؤخرًا تقنيات مشابهة لزيادة عزم الدوران وتقليل التآكل مع مرور الزمن، ولكن الطبيعة سبقته في الوصول إلى ذلك.

المسننات الوظيفية من أي نوع هي أجهزة صنعت ببراعة. لها عدة أشكال وتستخدم لعدة أغراض. وهي حجر الأساس في التقنيات الحديثة، توجد بعدة أنواع من الآليات كالسيارات والدراجات الهوائية. يبدو بالتوغل في التاريخ البشري أنه لا أحد يعلم بالتأكيد من الذي اخترع مسننات نقل الحركة الآلية، ولكننا نعلم أن الإغريق قد استخدموها في أول حاسوب تناظري معروف، آلية أنتيكيثيرا Antikythera التي يعتقد الآن أنها استُخدمت لرسم حركات الشمس والقمر والكواكب المرئية بالعين المجردة[١٩]. عندما عثر غواصو الإسفنج الإغريق في القرن العشرين ١٩٠٠م على هذه التقنية القديمة -وهي الآلية التكنولوجية الأكثر تطورًا مما اكتشف منذ قديم الأزمان- ورأوا مسننات نقل الحركة، فأدركوا فورًا أنها من صنع عقل ذكي. فلماذا، مع غياب أسباب أخرى لها القدرة على إحداث معجزة كهذه، يتوجب علينا أن نستجيب بشكل مختلف عندما نجد مسننات مصممة بشكل رائع تلتصق بأرجل حشرة قافزة، بالأخص عندما تفتقر القصص الخيالية للتطور الأعمى لتفاصيل يمكن الاعتماد عليها لتفسير عجائب طبيعية كهذه.

في عام ١٩٩٨م أدهش «تايسون» العالم بإحداثه فتحة في جدار سجنه في إنكلترا مستخدمًا يديه العاريتين فحسب[٢٠]. بعدها بفترة وجيزة ملأت شهرة تايسون الأخبار. ولكننا لا نتحدث عن ملاكم الوزن الثقيل مايك تايسون. تايسون هذا، مخلوق صغير يعيش في المحيط، حطم زجاج حوضه الذي تبلغ سماكته ربع إنش في مركز المحمية المائية في غريت يارموث في إنكلترا. وحسب ميزان التصنيف الوزني للملاكمين فإن تايسون هذا لا يمكن هزمه عندما يتعلق الأمر باللكمات الأسرع والأقوى.

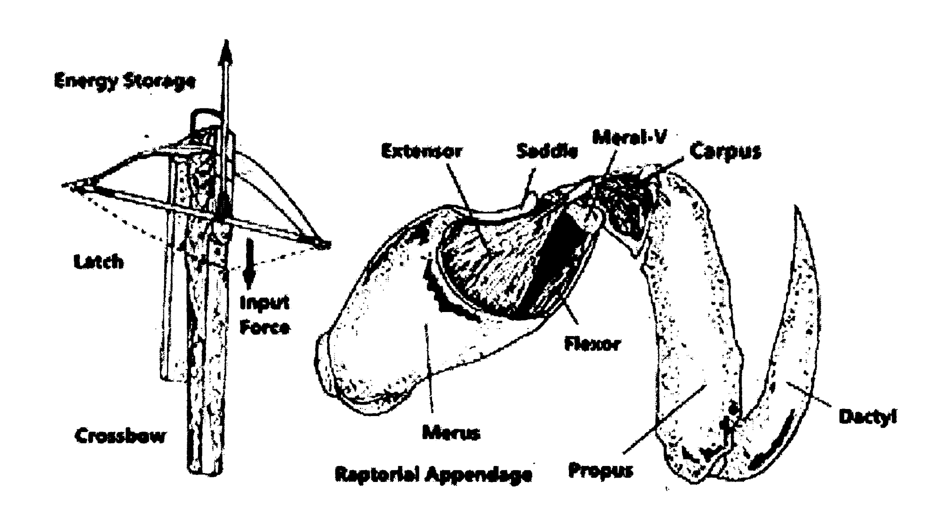
كان تايسون هذا روبيان السرعوف الطاووسي peacock mantis shrimp (فميات الأرجل Odontodactylus scyllarus). تستخدم هذه الأنواع الزوائد التي تحولت إلى هراوات لإحداث ضربة سريعة للغاية (سريعة بشكل فائق) لتحطيم الصدفات[٢١]. ضربات قوية كهذه تتطلب وجود نظام لتخزين وتحرير الطاقة، بآلية نابض خارجي (خارج الهيكل) سرجي الشكل.

درس العلماء الضربات باستخدام معدات تصوير عالية السرعة. فوجدوا أن روبيان السرعوف يحقق واحدة من أسرع اللكمات تحت الماء على وجه الأرض، وصل إلى أعلى سرعة وتقدر بخمسين ميلًا في الساعة بأقل من ٨٠٠ ميكروثانية، وتنتج قوة تصل إلى ٢٥٠٠ ضعف وزن جسم الحيوان[٢٢]. الضربات سريعة وقوية للغاية لذا تنتج شرارات ضوئية صغيرة بخفضها ضغط الماء المحيط بها إلى درجة كبيرة تؤدي إلى غليانه. تتفجر فقاعات صغيرة عندما يعود ضغط الماء لطبيعته، فيطلق كمية كبيرة من الطاقة بعملية التفريغ (إحداث فراغ في بنية متماسكة). كتب إد يونغ Ed Yong «تصل هراوة تايسون إلى هدفها بغضون ٣ أجزاء بالألف من الثانية، وتضرب بقوة رصاصة بندقية»[٢٣]، ولا تقوم بذلك في الهواء الطلق وإنما تحت الماء، أي تقاوم قوة الاحتكاك التي يفرضها الماء.

يا لها من تقنية حديثة ورائعة. كما قالت الدكتورة شيلا باتيك Sheila Patek المؤلفة المساعدة في إعداد ورقة علمية[٢٤] عن الروبيان لبي بي سي: «يعمل روبيان السرعوف كرامي السهام يختزن طاقة مرنة قبل الضرب ليحررها لاحقًا عبر مزلاج»[٢٥] (الشكل 5.2).

كتب يونغ مفصلًا: «ما إن يتقلص الذراع تحبس السقاطة بقوة في مكانها ثم تتقلص عضلات الطرف العلوي وتخزن طاقة، وعندما يتحرر المزلاج تتحرر كل الطاقة دفعة واحدة لتدفع الطرف السفلي للأمام»[٢٦].

لاحظ كل من باتيك Patek، وتي أي زاك T. I. Zack، وتي كلافيري T. Claverie أيضًا أن «الأشكال المميزة وأنماط التمعدن المميزة للزائدة الافتراسية (الملحق الافتراسي) للروبيان السرعوفي تظهر بالإضافة لما سبق نظام مضاعفة قوة آلي عالي التماسك يعتمد على تخزين الطاقة المرن خارج الهيكل»[٢٧].



الشكل 5.2: نظام اللاحقة الشبيهة بالهراوة للروبيان السرعوفي الذي يعمل كالقوس والسهم والذي يقوم بواحدة من أقوى اللكمات على وجه الأرض. بالنسبة لحجم جسمه فقد تفوق على الملاكم السابق مايك تايسون بطل الوزن الثقيل بفارق شاسع.

من الميزات الأساسية لهذه الضربة القوية هي البنية الصغيرة الموجودة في الذراع والتي تشبه السرج. وتنضغط أثناء التصويب فتعمل كنابض يختزن طاقة إضافية. وعندما يتحرر القفل تتمدد هذه البنية المشابهة للسرج وتولد قوة دافعة إضافية للهراوة. مما يؤدي إلى تسارعها فوق ١٠٠٠٠ قوة الجاذبية[٢٨] (تسارع الجاذبية الأرضية قيمته ١٠ م/ ثا[٢] أي هنا ١٠٠٠٠٠ م/ ثا[٢]) وتصبح قوية بما يكفي لتحطيم زجاج الحوض التي حبس الروبيان بداخله. التصميم مشابه لأحد التصاميم التي استخدمها المهندسون.

ولكن كيف لروبيان السرعوف أن يقوم بتلك اللكمات بسرعة وقوة هائلتين دون أن يؤذي نفسه؟ الروبيان مجهز بقفاز لَكْم متطور جدًّا خاص به.

لقد اكتشفنا مؤخرًا هذه المعجزة الهندسية[٢٩]، منطقة التصادم الأمامية من الهراوة سميكة جدًّا ومصنوعة من مادة تشبه العظام: بلورات هيدروكسي أباتايت تتعامد مع السطح، تشكل كل بلورة عمودًا يوفر قوة ضغط عالية، ويمكنه تحمل ضغط يعادل ٤ بليون باسكال (يبلغ الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر ١٠٠ ألف باسكال)، كيف يمكن لتلك البِنية أن تقارن بالتقنيات البشرية؟ نظيرتها بشرية الصنع والتي صنعت بدرجات حرارة عالية تصل إلى ٢٧٠٠ درجة فهرنهايت كالسيراميك مثلًا يمكنها تحمل ضغط يصل إلى ٢ -٣ بليون باسكال فقط.

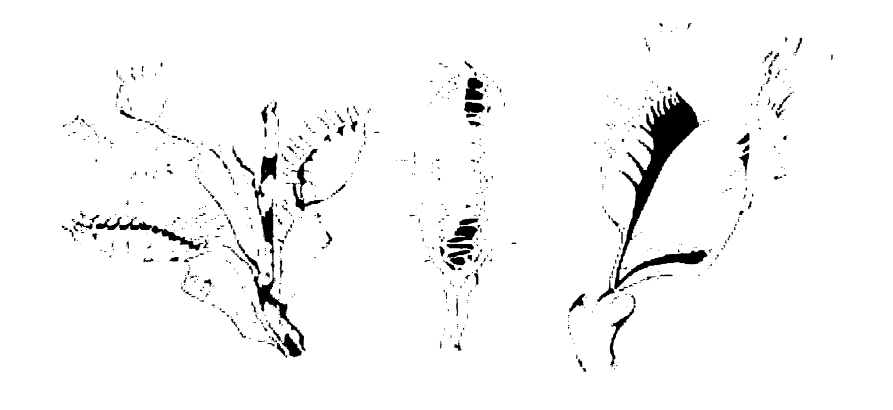
يلي منطقة التصادم ألياف بروتينية مصمَّمة ببراعة في طبقات متلاصقة (مكدسة فوق بعضها). كتب يونغ «في كل طبقة منها تتوازى الألياف كلها ولكن كل طبقة تدور قليلًا عن سوية الطبقة التي تحتها لتعطي مظهرًا حلزونيًّا. وأخيرًا، فالفراغ بين الألياف ممتلئ بمعادن مرتبة عشوائيًا»، مما يمنع انتشار أي تصدعات على كامل الهراوة. كما تحاط هراوة روبيان السرعوف بألياف كيتينية، لتحزم كامل بنية الهراوة وتقلل من انتشار التصدعات «كالملاكم الذي يلف رباطًا حول قبضتيه» كما وصفها الدكتور ديفيد كيساليوس David Kisalius[٣٠].

تدَّعي نظرية التطور أن روبيان السرعوف طوَّر كل هذه الميزات ليسد كل الحاجات الخاصة التي فرضتها بيئاته. وضح إيد يونغ الكاتب العلمي في مجلة ناشونال جيوغرافيك:

«يعتقد بعض العلماء أن الطبيعة القتالية لروبيان السرعوف تطورت لأن الشقوق الصخرية التي يعيش فيها تفرض عليه تنافسًا عنيفًا جدًّا. هذه المنافسة جعلت هذه الحيوانات أيضًا أذكى من الروبيان العادي (أعلى من متوسط ذكاء الروبيان). تعد اللافقاريات الوحيدة التي يمكنها تمييز بقية أفراد نوعها، ويمكنها تذكر نتيجة قتالها للمنافسين لمدة تصل إلى شهر»[31]. وخلاصة القول إن كان مفيدًا اجتماع قوة التدافع مع حدة الذكاء في بيئة قاسية، فسيسرع التطور لينقذ الكائن الحي ويهبه ضربات قوية كما يرفع معدل ذكائه. إنها قصة ممتعة، ولكنها لا تفسر الطريقة التي استطاع من خلالها الروبيان الصغير تطوير كل هذه التقنية والبراعة عبر التجربة والخطأ غير الموجهين، بطفرة وظيفية صغيرة مفردة كل مرة، لا بد من تجميع كل أجزاء آلية اللَّكْم مع بعضها في وقت واحد حتى تؤدي وظيفتها، لذا من المنطقي التشكيك بإمكانية فعلية لوجود هذا السبيل التطوري.

النباتات المفترسة

النباتات المفترسة (الشكل ٣,٥) نباتات جذابة وغريبة، من الصعب ألا تعجبك من النظرة الأولى. تستخدم هذه النباتات ترسانة من الفخاخ المتحركة المصممة ببراعة، ومستشعرات كهربائية وكيميائية ومواد كيميائية هاضمة لقتل وهضم العناكب والحشرات والأوالي والقشريات والسحالي والفئران والجرذان وأنواع مختلفة أخرى من الفقاريات واللافقاريات. تقوم كل واحدة من هذه النباتات المفترسة باستخدام فخاخها وأدوات الإغراء لديها بالتناغم مع آلية وترسانة كيميائية لتسهيل عملية الهضم الكاملة للفريسة[32].



الشكل 5.3: النبات المفترس، صائد الذباب، وفخه في حالة مفتوحة، وحالة مغلقة خلال مرحلة الهضم.

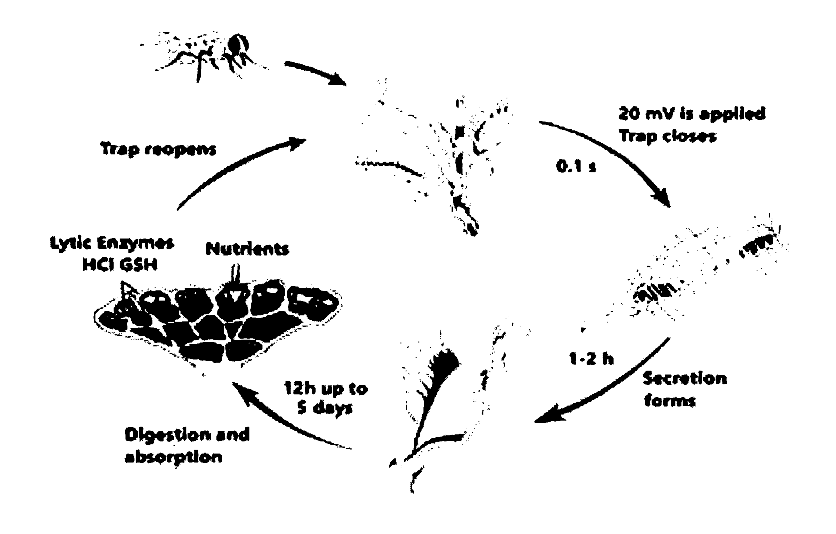
كما لاحظ كل من أرون إيليسون ونيكولاس غوتلي، فداروين كان رائدًا في الأبحاث الحديثة عن النباتات المفترسة من خلال ما كتبه عن النباتات الآكلة للحشرات عام ١٨٧٥م. هناك طبق داروين فكرته عن التماثل homology (والتي يسميها علماء التطور الحديث بالتشابه homoplasy) ليسلِّط الضوء على ما اعتبره تقاربًا تطوريًّا convergence بين الأصناف التي تبدو غير متقاربة، وقد كان أول من قدم وصفًا للبِنى التي تستخدمها ثمانية أجناس من النباتات لحبس الحشرات[٣٣].

كما سجل داروين فهذه النباتات مثيرة للإعجاب ليس لكونها قادرة على التقاط الفرائس فحسب، ولكن أيضًا لقدرتها على توظيف أنزيمات نوعية لهضم البروتينات الحيوانية ومن ثم امتصاصها. فدون الإنزيمات لا فائدة من الفخ على الإطلاق. على الرغم من أن داروين وصف كل ذلك منذ حوالي ١٥٠ عامًا، إلا أنه منذ ذلك الحين لم يكتب أحدٌ ما يبين **كيف** طوّرت هذه الكائنات المذهلة وظائفها الحيوية والكهربائية والتشريحية بهذا الشكل المعقد الدقيق وعلى درجة عالية من التزامن.

تستخدم النباتات المفترسة أوراقًا متخصصة للغاية تعمل كفخاخ آلية. كتب جون بريتناشر John Brittnacher: «تجذب العديد من الفخاخ الفرائس بألوانها الزاهية، و/ أو رحيقها الخارجي، و/ أو أهدابها الموجهة، و/ أو أوراقها الممتدة للخارجة (المنبسطة). ما إن يتم الإمساك بالفريسة وقتلها حتى يبدأ النبات و/ أو الكائنات الحية الشريكة بهضمها. ثم يمتص النبات العناصر الغذائية المستخلصة من جسم الفريسة. معظم النباتات الآكلة للحوم ستنمو دون التغذي على الفرائس ولكن ستنمو بسرعة أكبر، وتتكاثر بشكل أفضل بالاعتماد على المغذيات المستخلصة من فرائسها»[٣٤].

صائد الذباب أو مصيدة فينوس Dionaea muscipula هي أشهر النباتات المفترسة[٣٥]. موطنها البري في جنوب الولايات المتحدة، غالبًا ما تتغذى على الذباب، ولكن يمكنها التغذي على أي كائن حي يتناسب حجمه مع حجم فخها. كما وضح رينر هيدريش Rainer Hedrich وإيرون نيهر Erwin Neher، أن النبات يوظف مستقبلات ميكانيكية عالية الحساسية والتي «ما إن تلامس الفريسة حتى يتحرض فعل كامن ينتقل عبر شبكة كهربائية (يمكن تشبيهها بالجهاز العصبي عند الفقاريات) فتغلق فخها ثنائي الوريقات بسرعة»[٣٦]. (الشكل ٤, ٥)[٣٧].

تُغلق المصيدة تلقائيًّا بسرعة، ولكن النبتة تتبع بعدها سلسلة متناغمة بعناية من التفعيل الجيني لإحكام إغلاق المصيدة، وهضم الفريسة وامتصاص المغذيات. كل هذه السلسلة من الأحداث يجب أن تحدث بتزامن احترافي. يصنع النبات قراره خطوة بخطوة فيما يخص التفعيل من خلال حساب عدد المنبهات التي وصلته من أعضائه الحسية.



الشكل 5.4: الدورة الرائعة للأحداث التي تحصل عندما تفتح نبتة صائد الذباب فخها ذا الوريقتين. تستكشف فريستها من خلال مستشعراتها الكيميائية الكهربائية. تقبض عليها بإغلاق مصيدتها بسرعة، تهضم فريستها باستخدام إنزيمات نوعية، وتشرب العصارة قبل إعادة فتحها للمصيدة.

لم يجرؤ العلماء التطوريون على افتراض أن نبات صائد الذباب قد طور مهاراته الشبيهة بالمهارات الحيوانية في الافتراس عبر أخذ جينات من فرائسها، فهو أمر شبه مستحيل باعتبار أن الفريسة تهضم كلها من أجل الطعام. لكن اقترحوا أن النبات تعدل وأعاد ترتيب وظائف جيناته المشتركة بين جميع النباتات. ولكن هذا أيضًا ليس بمتناول عملية عمياء لا يمكنها توقع حاجات مستقبلية.

الافتراس موجود في مملكة الحيوان، ومن المنطقي أكثر وجوده هناك. لذا فمن الغريب وجود سلوك كهذا في الفرع الأخضر من شجرة الحياة، وخاصة بالنظر إلى أن معظم النباتات تبدو قادرة على النمو باستخدام عملية التركيب الضوئي فقط. إذا كان الافتراس قد تطور هنا لتوفر المزيد من المغذيات، فلماذا سيكافئ الانتخاب الطبيعي النباتات -التي من المفترض أنها قادرة على الاستفادة من المزيد من المغذيات- على صرفها لبعض مغذياتها الثمينة التي حصلت عليها لتوِّها لتطوير أداة جديدة، وغير مفيدة في ذلك الوقت بعد، لتزودها لاحقًا

بالمغذيات، وتكافئ هذه النباتات التي من المفترض أنها تطورت على جهودها عميقة النظر التي تحتاج إلى عدد لا يُحصَى من الأجيال تمتد عبر عصور طويلة؟ هذا إذا كانت المغذيات التي أتت من عملية الافتراس مجرد مكافأة إضافية للزهرة، فلماذا إذًا تنتخب الطبيعة كل الخطوات الوسيطة المتعددة لنظام المكافآت الإضافية المعقد هذا، في حين لم يقدم هذا النظام أي فوائد لا على صعيد التغذية ولا الحماية، بل على الأرجح تطلب تكاليف غذائية وطاقة قد تهدد الحياة؟

حتى لو تطورت في البداية لتحمي نفسها، ثم تطورت لاحقًا لتوفير مغذيات إضافية، سيكون لدينا المشكلة نفسها: لمَ تصرف كل الطاقة في سبيل الوصول لنظام الحماية الوظيفية قبل أن يكون نظام الحماية فعالًا على الإطلاق؟ لا ينظر الانتخاب الطبيعي تجاه المكاسب المستقبلية، تذكر أن الأمر يتمحور حول «الانتقاء مما يوجد مسبقًا؟»

يتفاقم التحدي أمام الداروينية بالحقيقة القائلة: إن طورت النباتات الافتراس فعلًا فيتوجب عليها أن تقوم كما بيّن كل من إيليسون Ellison وغوتلي Gotelli «أن تقوم بالتطور ٦ مرات مستقلة على الأقل، وذلك في خمسة صفوف من كاسيات البذور»[٣٨].

يمكن للمرء أن يقر بحدوث معجزة تطورية مرة واحدة، ولكن كيف نقبل حدوث معجزة تطورية ٦ مرات؟

ويعتقد أن نباتات أخرى كزنبق الكوبرا (قاذف كاليفورنيا) Darlingtonia وبعض أنواع النابنطيات Nepenthes، قد فقدت قدرتها على هضم الفريسة بأنفسها. ولعل جهازها الهضمي كان يعمل بشكل جيد ثم وُجد النبات نفسه في بيئة غنية بالجراثيم والكائنات الأخرى بحيث إن أحد هذه النباتات الذي ولد بجهاز هضمي مَعيب لا يعمل جيدًا فتدبر أمره بشكل جيد. في مثل هذه الحالات، يمكن للنبات أن يعتمد على الجراثيم والكائنات الحية الأخرى الموجودة الآن في بيئتها لهضم العناصر الغذائية التي يحويها جسم الفريسة التي التقطتها.

فسرت الجمعية الدولية للنباتات المفترسةInternational Carnivorous Plant Society على موقعها الإلكتروني هذا بالطريقة التالية: «بعبارة غير علمية لماذا يتوجب على نبات أن يمر بعناء هضم الفريسة بنفسه، في الوقت الذي يمكنه تسخير كائنات حية أخرى لتقوم بذلك بدلًا منه؟ أو بعبارة علمية، ما لم يكن هناك فائدة انتقائية من استهلاك الطاقة لعملية الهضم، ستتراكم الطفرات للقضاء على عملية الهضم»[٣٩].

قد يكون الأمر كذلك، ولكن هذا يعتبر تراجعًا أي تطورًا عكسيًا devolution -أي: إنه تخريب لنظام قائم- وكما يعلم أي شخص لديه أطفال أن طفلًا بعمر سنتين فقط يمكنه التحكم بذلك، تحتاج الداروينية لشرح تطور أجهزة جديدة، وتطور معجزات هندسية جديدة، وليس إلى تعليل تخريب أو تدرّك الموجودة منها[٤٠].

قد يأتي من يدّعي أن الأمر يحتاج إلى القليل من الخيال لتقبل إمكانية تطور نباتات كهذه، ولكن التخيل الحقيقي لمسار تطوري قابل للتطبيق على أرض الواقع يعني وصف سلسلة من الخطوات القابلة للتطبيق من البداية حتى تشكّل فخًا وجهازًا هضميًا متكاملًا. فالاعتقاد بحدوث شيء يختلف عن تخيل طريقة حدوثه. لم يقترب أحد من وصف طريقة لحدوث ذلك، ولم يكن ذلك بسبب قلة المحاولات.

هل يسمح لنا بتخيل، أو اعتبار، أسباب ممكنة أخرى -أسباب تملك قدرة واضحة على تجميع قطع هذه المعجزة الهندسية الجديدة؟ - فلنمضِ قُدُمًا ونفكر باحتمال آخر، سواء أُذن لنا بذلك أم لا: يتطلب بناء النظام بصيرة مسبقة بالأشياء التي سينتهي بها المطاف داخل المصيدة، وذلك لمزامنة بناء جهاز هضمي مناسب. يتطلب الأمر تبصُّرًا مسبقًا لجهاز هضمي يؤدي وظيفته لتحمل أعباء بناء المصيدة المعقدة. وتطلب البصيرة المستقبلية لبناء كل من هذين النظامين بشكل منفرد.

قوة فريدة من نوعها

من السهل وصف بعض الكائنات الحية باعتبارها بسيطة وبدائية. ولكن ما إن تكبر الصورة باستخدام المجاهر القوية والكيمياء الحيوية، ستجد أنه حتى الأجزاء الضئيلة للحياة

معقدة إلى حد يفوق الخيال. يكشف المجهر لنا عالمًا كاملًا من البنيات المعقدة المذهلة التي تحل ببراعة مشاكل مستحيلة الحل. وبينما نرتقي في مقياس الحجم ونصل إلى كائنات كالبارقة الحورائية والروبيان تايسون، والنباتات المفترسة سنجد أثناء دراستنا لها كمًّا هائلًا من هذه الحلول الذكية.

لقد تطرقنا في الأمثلة التي استعرضناها في هذا الفصل إلى أصغر عينة من تلك الحلول فقط. لقد غمسنا أصبعنا فقط في محيط من العبقرية، بل إن شئت -عبقرية تعتبر في خبرتنا العامة مرتبطة بقوة يتفرد بها الفاعلون الأذكياء- ألا وهي «البصيرة».

الفصل السادس

الطيور: دراسة حالة في البصيرة

يُظهر العالم الحي حلولًا هندسية عديدة مقترنة بالكيمياء العبقرية بعيدًا عن متناول الآليات التطورية غير الموجهة. ومن الأمثلة اللافتة للنظر بشكل خاص: الطيور. يوجد العديد من جوانب الكيمياء الحيوية والبنية عند الطيور، توحي عند التدبر فيها بالبصيرة والتخطيط والإبداع الرائع. سوف نركز هنا على جانبين فقط: ملاحة الطيور وتكاثر الطيور.

نظام تحديد مواقع عالمي GPS عند الطيور

لدى الطيور المهاجرة قدرات فريدة من نوعها. فقد سجل طيران بعض الطيور مثل طائر السمامة الشائعة (Apus apus الشكل 6.1) لمدة عشرة أشهر، ولم تهبط إلا نادرًا خلال طيرانها لفترة وجيزة فقط على الأرض، أثناء الهجرة من أوروبا إلى إفريقيا والعودة مرة أخرى[1]. ولكن ربما الأكثر إثارة للإعجاب: هو قدرتها على الطيران لمسافات طويلة، عبر المناظر الطبيعية المتنوعة والمتغيرة دون أن تضيع. يبدو الأمر كما لو أن لديها نظام تحديد مواقع عالمي GPS مدمج.

يعتمد نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) البشري على براعة العقل وإشارات الراديو من الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض. من خلال دمج الإشارات من عدة أقمار صناعية، يمكن لنظام تحديد المواقع تحديد موقعه على الأرض، وأحيانًا في حدود بضع بوصات. لقد عرف العلماء لعقود من الزمان أن الطيور لديها نظام تحديد مواقع عالمي (GPS) يرتكز على مبدأ أكثر أناقة: أنها تشعر بالمجال المغنطيسي للأرض[2]. تسمى هذه الظاهرة بالاستقبال المغناطيسي magnetoreception.

تقوم الطيور المهاجرة بالملاحة عبر استعمال هذه البوصلة المغناطيسية، ولكن حتى الطيور غير المهاجرة لديها هذه الحاسة، وتطير باستعمال بوصلة مغناطيسية داخلية. وقد اقترح ذات مرة أن الحديد في مناقير الطيور قد وفر لها بوصلة مغناطيسية. لكن يبدو الآن أن نظام الاستشعار أكثر تطورًا بكثير: إنه جزيئات خاصة في أعينها تمكن الطيور من رؤية خطوط المجال المغناطيسي للأرض (الشكل ٦,٢) واستعمالها كدلائل ملاحية.

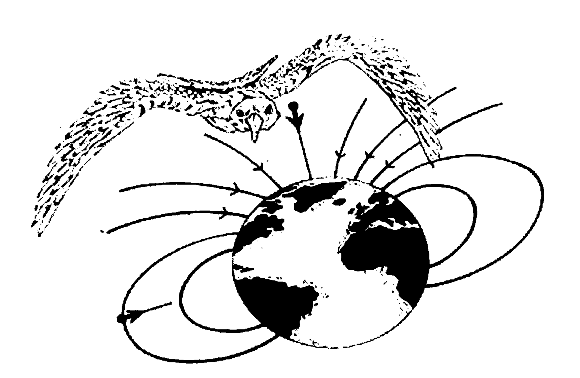


الشكل 6.1: طائر السمامة الشائعة (Apus apus) يطير لمدة أشهر خلال رحلته من أوروبا إلى إفريقيا دون أن يضيع. جزء من سره قد يكون جزيء الكريبتكروم المعروف باسم Cry4، المتقدم جدًّا الذي قد يُسخر التشابك الكمومي.

الجزيئات الخاصة هي عبارة عن بروتينات معقدة للغاية تدعى الكريبتكروم cryptochromes. معظم الكريبتكرومات حساسة للضوء، وتشارك في «الساعة اليومية» التي تنظم دورات الاستقلاب والسلوك على مدار ٢٤ ساعة في الحيوانات. لكن الأدلة الحديثة تشير إلى أن أحد الكريبتوكرومات Cry4 هو المعني بالاستقبال المغناطيسي عند الطيور[٣].

كيف يمكن أن يكتشف مركب Cry4 خطوط المجال المغناطيسي؟ عند تنشيطه بواسطة الضوء، يفصل Cry4 إلكترونًا عن أحد أزواج الإلكترون عنده، مكونًا ما يسمى بـ«الزوج الجذري radical pair». (الكريبتكرومات في الفقاريات هي الجزيئات الوحيدة التي تقوم بذلك).

«المدار» في الذرة أو الجزيء هي حالة كمومية محددة، تحدد الطاقة، والدوران، والموقع المحتمل للإلكترون بالنسبة للنواة. يحتوي كل مدار عادة على زوج من الإلكترونات، لهما دورانان متعاكسان spin، بمجالين مغناطيسيين متعاكسي الاتجاه. يتشكل الجذر عندما يحمل نوع كيميائي إلكترونًا غير مقترن، ويتشكل «زوج جذري» عندما يوجد إلكترونان غير مقترنين يرتبطان بما يعرف باسم التشابك الكمومي quantum entanglement، وهو من أغرب الظواهر التي اكتشفت في الفيزياء الحديثة.



الشكل 6.2: يمكن لطائر السمامة الشائعة في بعض الحالات، الطيران لعدة أشهر في كل مرة دون الهبوط، ويعرف طريقه عبر رؤية خطوط المجال المغناطيسي للأرض، بما يبدو أنه تحفة فنية من استعمال جزيء البروتين Cry4 في أعينها. ومن المثير أيضًا أنه يمكنه الطيران والملاحة أثناء النوم.

وقد وصفها الدكتور ديفيد كايزر David Kaiser: «يتعلق التشابك بسلوك الجسيمات الدقيقة، مثل الإلكترونات، التي تفاعلت في الماضي ثم انفصلت. ضع علامة على جسيم واحد هنا، بقياس إحدى خصائصه، وموقعه ونشاطه أو «دورانه»، ويجب أن يرقص شريكه، على الفور، بغض النظر عن المسافة التي قطعها الجسيم الثاني[٤].

يبدو هذا كأنه خيال علمي، أليس كذلك؟ استخلص ألبرت أينشتاين وبوريس بودولسكي وناثان روزن هذه الظاهرة من نظرية ميكانيكا الكم، لكنهم شككوا في ذلك، وخلصوا إلى أن النظرية يجب أن تكون غير كاملة[٥]. لكن التشابك الكمي أثبت لاحقًا بشكل تجريبي. في عام ٢٠١٣م، بيّن فريق من العلماء الصينيين أن التواصل بين شيئين متشابكين لا يمكن أن يكون أقل من ١٠٠٠٠ ضعف سرعة الضوء[٦]. من المعروف منذ عقود أن الأزواج الجذرية تتأثر بالمجالات المغناطيسية تحت الشروط المخبرية[٧]. اقترح الكيميائيان بريان بروكليهرست Brian Brocklehurst وكيث آلان ماكلوشلان Keith Alan McLauchlan في عام ١٩٩٦م، أن الظاهرة نفسها قد تحدث في النظم البيولوجية[٨]. وفي عام ٢٠٠٠م اقترح الفيزيائيون البيولوجيون ثورستن ريتز Thorsten Ritz وصالح آدم Salih Adem وكلاوس شولتين Klaus Schulten أن هذه الظاهرة قد تكون أساس الاستقبال المغناطيسي في الطيور[٩].

عندما يتشكل زوج الجذور الحرة في بروتين Cry4 قد نشّط بالضوء، يبتعد عضوا الزوج عن بعضهما بضعة أجزاء من المليار من المتر. ولكن حتى في هذه المسافة الجزيئية الصغيرة، يمكن أن يتأثر الإلكترونان غير المقترنين بشكل مختلف بالحقل المغناطيسي للأرض. من الناحية النظرية، يمكن أن تنتج العديد من هذه الأزواج المتشابكة صورة في عين الطائر تمكنه من الملاحة.

مشكلة هذا الاقتراح هي أن أزواج الجذور الحرة المرتبطة بالتشابك الكمومي قصيرة الأجل للغاية. وأفضل جزيء في المختبر يحافظ على التشابك الكمومي هو «بوكمينستر فوليرين Buckminsterfullerene»، الذي سمي على هذا النحو لأنه يشبه القباب الجيوديسية المصممة بواسطة Buckminster Fuller في الأربعينيات من القرن العشرين. وتسمَّى هذه

الجزيئات الجميلة ذات الأساس الكربوني أيضًا «كرات بوكي» أو «الفوليرين». وفي داخل الفوليرين، في درجة حرارة الغرفة، يمكن الحفاظ على زوج الجذور الحرة في تشابك كمومي لمدة ثمانين ميكروثانية.

استعمل فريق من علماء الفيزياء في عام ٢٠١١م «نظرية المعلومات الكمومية ونموذج الجذور الحرة المقبول على نطاق واسع لتحليل الملاحظات التجريبية الحديثة لبوصلة الطيور». وخلص الفريق إلى أن التشابك الكمومي في عين الطير يدوم حوالي مائة ميكروثانية، وهو ما «يتجاوز الفترات التي تحققت في أفضل النظم الجزيئية من صنع الإنسان والقابلة للمقارنة»[١٠].

وضع الفيزيائي سايمون بنيامين Simon Benjamin، وهو عضو في فريق البحث، هذا في المنظور الصحيح من خلال مقارنة بروتين Cry4 مع الفوليرين. وتساءل: «كيف يمكن أن يتطور النظام الحي لحماية الحالة الكمومية بقدر ما يمكننا فعله في المختبر -ناهيك عن حماية أفضل- باستخدام هذه الجزيئات الغريبة؟»، «وهذا الطائر بغض النظر عن طريقة عمله، ومهما كان لديه، فإنه يعمل بطريقة أفضل من جزيئنا الجميل المصمم بشكل خاص. هذا شيء صادم»[١١].

إذا انتقلت الطيور عبر الحقل المغناطيسي للأرض باستخدام أزواج جذرية والتشابك الكمومي، فمن غير المعقول أن نفترض أن مثل هذه القدرة المدهشة قد تطورت بخطوات صغيرة منفردة ذات وظيفة في كل مرحلة. لا يحتاج الطائر إلى جزيئات حساسة مغناطيسية بارعة كأجهزة استشعار فحسب، بل يحتاج أيضًا إلى القنوات التي تنقل الإشارات من المستشعرات إلى المنطقة الصحيحة من الدماغ. وسيحتاج الدماغ إلى أدوات لتفسير تلك المعلومات المحددة والرد عليها بشكل صحيح. من أجل توفير ميزة وظيفية، يجب تنفيذ نظام كامل جيد للغاية دفعة واحدة.

لذلك يبدو أن «العقل الفائق»، القادر على «البصيرة»، واستباق الاكتشافات العلمية، قد «ضبط» فيزياء الكم، كما ضبط الكيمياء والبيولوجيا أيضًا، كما خلص فريد هويل ذات مرة في وصف عالمنا وحياتنا[١٢].

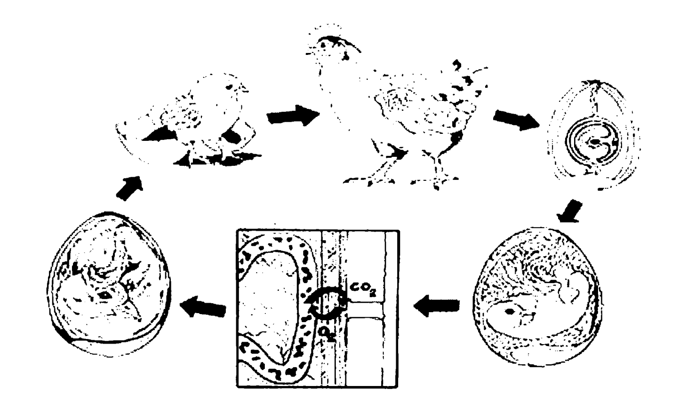
بيض الطيور

إن الأوكسجين الجزيئي (O_2) ضروري للحياة تقريبًا من لحظة الحمل وحتى تحويل المواد الغذائية إلى طاقة. دون أوكسجين، لن توجد حياة. يحتاج الطفل البشري الأوكسجين O_2 حتى قبل أن تبدأ رئتاه في العمل. مع نمو البويضة المخصبة داخل رحم الأم، تزود الأم الرضيع بما يكفي من O_2 عبر الحبل السُّرِّي.

لكن في المقابل، لا يتطور جنين الطيور في رحم أمه. ويتم فصله تمامًا عنها وهو معزول داخل كبسولة: إنها البيضة. تبدو البيضة من الخارج، أشبه بالتابوت منها بالمهد، محاطة بقشرة من كربونات الكالسيوم الصلبة محكمة الإغلاق. لكن البيضة (الشكل ٦,٣) أكثر تعقيدًا مما تبدو عليه[١٣].

والبيض ليس توابيت طبعًا؛ بل هو مهود قائمة بذاتها، مليئة بالحيل الغريبة والرائعة لتزويد الفرخ بكل ما يحتاج إليه، من الحماية الميكانيكية، إلى مجموعة من الأطعمة الدقيقة (صفار البيض وبياضه).

تشبه البيضة سفينة الفضاء التي تحتوي على كل ما تحتاج إليه، مع استثناء واحد: هو الأكسجين O_2. يبدو للوهلة الأولى أن الموت بالاختناق أمر لا مفر منه. ولكن الفرخ الصغير يبقى في الداخل، وينضج بشكل جيد، خلال أسابيع. فكيف يحصل على الأوكسجين؟ وكيف يطرد ثاني أكسيد الكربون الناتج عن تحويل الممواد الغذائية إلى طاقة؟ إذا وُجد الكثير من CO_2 المتراكم في داخل البيضة سيختنق فرخ الطير هذا. فكيف يحصل الفرخ بشكل انتقائي وفعال على دخول O_2 وخروج CO_2؟ نشرت محطة NPR شريط فيديو قصيرًا في الإنترنت حول هذا الموضوع، وأوصي بقوة بمشاهدته[١٤]. سنلخص هنا الكثير مما تم وصفه وتصويره هناك.



الشكل 6.3: بيولوجيا تكاثر الطيور والزواحف فريدة من نوعها، وقد تساءل العلماء منذ فترة طويلة كيف نشأت في النظام بيضة متطورة جدًّا.

تحتوي البيضة على قشرة صُلبة تمنع نفوذ الماء والهواء، وهي قوية بما يكفي لتحمل وزن الأم التي تحضنها. وفي القشرة آلاف المسام الصغيرة، كلٌّ منها أقل من ألف من البوصة، وهي صغيرة جدًّا بحيث لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة. على سبيل المثال، تحتوي بيضة الدجاج على أكثر من ٧٠٠٠ من المسام الصغيرة. يتم ضبط هذه المسام الضئيلة جدًّا للحفاظ على سلامة الهيكل كله. فهي تمنع الغزاة بينما تسمح للأوكسجين O_2 من الهواء النقي بالدخول وتسمح بإخراج CO_2. لو كانت المسام كبيرة جدًّا أو صغيرة جدًّا، لانقرضت الطيور. ولكن مجرد وجود المسام ليس كافيًا. فيوجد غشاءان انتقائيان رائعان تحت قشرة بيضة الدجاج مباشرة، يتعاونان بطريقة متزامنة للغاية.

عندما تجلس الأنثى على البيض لتحضن بيوضها، عادة ما يكون البيض أكثر دفئًا من الهواء المحيط. وعندما تبرد البيضة، تتقلص محتوياتها قليلًا، فتسحب الغشاءين إلى الداخل في الوقت المثالي. يمتص الانكماش الهواء من الجو، ويشكل كيسًا صغيرًا يحتوي في الغالب على النيتروجين (N_2) ولكنه يحتوي أيضًا على كمية كافية من O_2. عندها يشعر الفرخ الصغير بطريقة ما أن O_2 الثمين قد دخل البيضة. وللوصول إليه، طور الفرخ شبكة حساسة من الشعيرات الدموية في عملية وراثية واستقلابية محكمة التدبير. تم تصميم هذه الشعيرات

الدموية بشكل مثالي لإدخال O_2 وإخراج CO_2 من دم الفرخ. تنمو هذه الشبكة في بطن الفرخ وتضغط على الأغشية، فتتصل بها عن كثب. يسمح غشائي البيضة أيضًا بالتغلغل الانتقائي من خلال التبادل الصحيح لـ O_2 وCO_2. إنها تحفة عالية التقنية لمعالجة الهواء والتحكم فيه. كما أن مسام البيض تعد تحفة هندسية لسبب آخر. فهي تسمح لجزيئات الماء بالانتقال إلى داخل وخارج القشرة. يتبخر الماء ببطء، مما يخلق مساحة فارغة لملء الهواء. عندما يكون الفرخ مستعدًّا للفقس، فإنه يثقب كيس الهواء المتضخم ليأخذ أنفاسه الأولى بينما لا يزال داخل البيضة.

سنُّ البيضة أعجوبة هندسية أخرى. وهو نتوء صغير يشبه القرن، يبدأ بالتطور على المنحنى العلوي للمنقار في اليوم السابع داخل البيضة. يحدث الفقس بعد واحد وعشرين يومًا من وضع البيضة. مع اقتراب وقت الفقس، يصبح السن قاسيًا وحادًّا حتى يتمكن الفرخ من استخدامه لاختراق الغشاء الداخلي للوصول إلى خلية الهواء الموجودة في النهاية العريضة للبيضة[١٥]. يحتوي كيس الهواء بين القشرة والغشاء الداخلي على كمية مناسبة من الأكسجين للسماح للفرخ بالبدء في استخدام جهازه التنفسي لمدة تصل إلى **ثلاثة أيام قبل الفقس**. باستعمال خزان الهواء هذا، يملأ الفرخ رئتيه ويصبح قويًّا بما يكفي ليفتح ثقب في قشرة البيضة الصلبة. مخالب الفرخ والمنقار ليست قوية بما يكفي لاختراق قشرة البيضة الصلبة، لذا فإن سن البيضة وكيس الهواء ضروريان[١٦]. من دون سن البيضة وكيس الهواء، سيموت الفرخ داخل البيضة. يحتاج الفرخ الصغير أيضًا إلى شيء آخر لصنع أول صدع في القشرة (يطلق عليه «pipping»). لكسر الثقوب على الرغم من صلابة الأغشية والقشرة، تتضخم إحدى العضلات في الجانب الخلفي من عنق الطائر للضغط على المنقار مقابل القشرة. تثقيب الفتحة الأولى في القشرة متعب لدرجة أن الفرخ يستريح بعدها لمدة تصل إلى ثماني ساعات. ثم، كما توضح غيل داميرو Gail Damerow، فإن الفرخ المنشط يدور في اتجاه معاكس لاتجاه دوران عقارب الساعة، وينقر القشرة بسن البيضة آلاف المرات، حتى يكسر القشرة حوالي ثلاثة أرباع الطريق، ويخلق غطاء قشرة في النهاية العريضة للبيضة[١٧].

يمكن أن يستغرق هذا العمل المصمَّم بشكل كبير لكسر قشرة البيضة مدة تصل إلى خمس ساعات. يعرف الفرخ متى يتم ذلك، ويدفع ضد غطاء القشرة برأسه. بعد حوالي أربعين دقيقة من الجهد، يكسر غطاء القشرة أخيرًا. تم استنفاد الفرخ مرة أخرى، ويستريح. وأخيرًا، فإنه يقوم بركلة واحدة قوية للهروب من قشرة البيضة[١٨].

سن البيضة ضروري للهروب. لكن لاحظ أيضًا أن الدجاجة لم تتح لها الفرصة لتعليم الفرخ كيفية القيام بأي شيء، ومع ذلك بطريقة ما يعرف ذلك. (إذا لم يحدث ذلك، فسوف يموت). هذه الدراية هي أيضًا جزء مما يبدو أنه يجب استبصاره وتوفيره مسبقًا.

لا تملك فراخ بعض أنواع الطيور سن البيضة، كطيور الشقبانية megapodes. إن قشور البيض الخاصة بها أكثر ليونة، لذلك لا حاجة لتطوير السن التي تتطلب مواد غذائية. يفقس الفرخ بإخراج القدمين أولًا لتفتح طريقها للخارج، ثم يستعمل مخالب حادة غطيت ببراعة بواسطة قلنسوات تشبه الهلام لتجنب الإصابات. هذه القلنسوات التي تشبه الهلام، مثل سن البيضة، تسقط بعد فترة وجيزة من خروج الفرخ.

هناك تآزر مذهل في العمل بين الفرخ داخل بيضته والأم في الخارج. الدجاجة «تعرف» أنها يجب أن تحضن البيضة لبضعة أسابيع، وتحافظ عليها دافئة، وتقلبها عدة مرات في اليوم. بعد حوالي سبعة عشر يومًا من الحضانة تحت الدجاجة الأم، يبدأ الفرخ في الزقزقة. إشارات صوتية تشير للدجاجة إلى أن الفرخ جاهز تقريبًا لترك البيضة.

بمجرد سماعها للرسالة، تبدأ الدجاجة في نقب الثقوب في النهاية المستديرة للقشرة. فيدخل المزيد من الهواء، مما يسمح للفرخ بمزيد من الأكسجين وبالتالي يعطيه قوة للفقس. من هذه النقطة فصاعدًا، سيستعمل الفرخ سن البيضة لكسر القشرة، فيحرك جسده في عملية منسقة للغاية حتى يتمكن من التحرر.

على الرغم من أن هذه هي الطريقة الأكثر شيوعًا لفقس الأفراخ، إلا أن الفرخ في بعض الأنواع يقسم جانب البيضة ويخرج من خلال ثقب غير مرتب. تختلف كمية النقر المطلوبة، وتظهر مبرمجة مسبقًا لتتناسب مع صلابة البيضة وقدرة الفرخ على التحمل.

أعلن توماس وينتوورث هيجينسون Thomas Wentworth Higginson، مؤلف من القرن التاسع عشر، ناشط لإلغاء عقوبة الإعدام، وناشط في مجال حقوق المرأة: «أعتقد أنه إذا طلب مني في سكرات الموت أن أذكر فورًا الشيء الأكثر كمالًا في الكون، فسأراهن على بيضة طائر»[١٩]. يبدو أن مستويات متعددة من البصيرة مطلوبة لتنظيم شيء مثالي مثل البيضة. وكما هو الحال مع الحالات الأخرى، تشرح السيناريوهات التطورية المقترحة فائدة وجود البيضة ووجود دجاجة تعطيها، ولكنها تتجاهل التفاصيل النوعية لكيفية نشوء هذا النظام الأكثر روعة بخطوات منفردة صغيرة عمياء على مدى عدة أجيال[٢٠].

ما الذي جاء أولًا؟

السؤال القديم هو: من الذي جاء أولًا، الدجاجة أم البيضة؟ تلزم دجاجة لإنشاء بيضة، ولكن يلزم بيضة لإنشاء دجاجة. بدون دجاجة لن توجد بيضة، ولكن الدجاجات التي وضعت بيضًا متطورًا جزئيًا فقط، أي: لا يتمتع بوظائف كاملة، ستنقرض خلال جيل واحد، وداعًا، أيها الطائر.

يجب التخطيط للبيضة التي تؤدي وظائفها بكامل طاقتها مسبقًا، مع المسام ذات الحجم الصحيح، والأغشية الداخلية، وكيس الهواء القابل للتوسيع. يجب برمجة الفرخ لربط نفسه بالأغشية عبر شبكة من الأوعية الدموية، ولتوسيع كيسها الهوائي ببطء حتى يتمكن الفرخ من تدريب رئتيه الجديدتين قبل كسر جدران سجنه. يجب أيضًا أن تحمل البيضة ما يكفي من الطعام لينضج الفرخ. يجب أن يكون للفرخ سن البيضة القوي والمصمَّم جيدًا، ومعرفة كيفية إخراج رقاقات من القشرة.

يجب أيضًا تنسيق سلوك الفرخ والدجاجة. إذا تم التغاضي عن أي من هذه الخطوات المعقدة، والسلوكيات، والهياكل، فلن تعيش الطيور لفترة كافية للانتقاء الطبيعي لتطوير أي شيء جديد. الطيور وبيضها هي في الواقع حالات ملفتة للنظر في البصيرة والتصميم في الطبيعة.

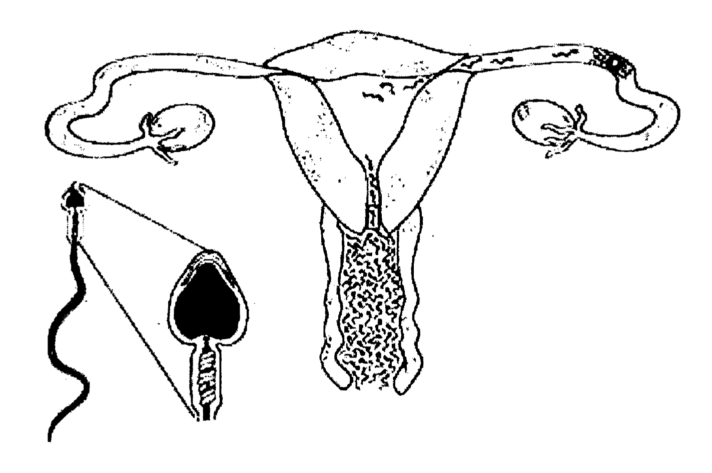
الفصل السابع

البصيرة في الشكل البشري: التكاثر

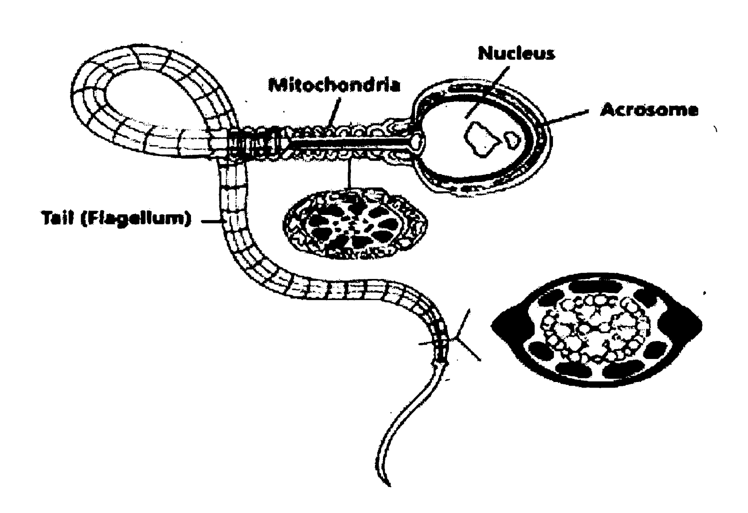
تحوي أجسامنا حلولًا كثيرة استبقت وجود مشاكل معقدة، وسيكون تقصيرًا مني إن لم أستعرض بعضها في هذه الصفحات. هناك العديد من الأمثلة الجميلة التي سأعطي نموذجًا صغيرًا منها فقط.

النطفة والبيضة

تبدأ معجزة الحمل العظيمة باندفاعة طائشة. فتصطف ما بين ١٠٠ مليون و٣٠٠ مليون نطفة عند خط البداية (الشكل ٧,١). وتنطلق إلى خط نهاية بعيد، والجائزة هي المشاركة في صنع فردٍ جديد، طفل بشري. الفائز هو أول نطفة تستطيع اختراق غشاء البيضة. يمكن أن تنطلق هذه السباقات عدة مرات في الشهر، لكن كثيرًا من النطاف ينتهي بها الأمر دون أي جائزة لأن ما ينتظر عند خط النهاية هو بيضة واحدة تأتي مرة واحدة في الشهر فقط.



الشكل 7.1: يظهر في وسط الصورة جهاز تكاثر الأنثى عند الإنسان، حيث يكون المهبل (الجزء السفلي) مملوءًا بالنطاف. وعلى يسار الصورة النطفة. وباستعمال مولداتها من المتقدرات وأسواطها، تبدأ ملايين النطاف السباق، لكن نطفة واحدة محظوظة فقط ستجد البيضة وتخترقها.



الشكل 7.2: أكثر سيارة سباق تعقيدًا على الأرض: النطفة.

النطفة مجهزة جيدًا للسباق بذيل طويل (يدعى سوط، رغم أنه مختلف عن سوط البكيتريا) ليدفعها إلى الأمام، وعشرات مولدات الطاقة الميتوكوندرية وتحمل بلايين البايتات من المعلومات لتمريرها، ومجهزة «بكاشف البيضة» لإرشادها، مع خليط من الأنزيمات لفتح أبوبها إلى النصر النهائي.

تشكل النطاف عدة أجزاء مئوية فقط من حجم السائل المنوي أو المني الذي يقذفه الرجل عادة. ولا بد من تغذية النطفة خلال اندفاعها تجاه البيضة، فيغذيها المني بسكر الفركتوز. كما أن المني قلوي قليلًا، مما يحافظ على حياة النطفة التي تتأثر بالوسط الحمضي للقناة التكاثرية الأنثوية.

طول مسار السباق ١٥ سم تقريبًا وهو مجهز بشكل مناسب أيضًا. فمع تحرر هرمون الأستروجين، يفتح الحاجز الفيزيائي وهو عنق الرحم، ويصبح المخاط أكثر قلوية وأكثر رقة، وتتنبه تقلصات الرحم مما يساعد النطفة على دخول الجهاز التكاثري. لمساعدة النطفة في الوصول إلى البوق الحامل للبيضة (قناة فالوب)، تزيد التقلصات الرحمية من اندفاع النطفة.

تكافئ النطاف التي تصل إلى القناة الرحمية، بعد هروبها من جيش دفاعي من خلايا الدم البيضاء، ببحر من المخاط الرحمي لنقلها. يكون هذا المخاط عادة لزجًا، لكنه يصبح رائقًا ورقيقًا في فترة الإباضة بالضبط، بحيث يمهد طريق السباق بصورة ملائمة بخيوط من الجزيئات التي يمكن أن تركبها النطاف إلى وجهتها النهائية.

كيف تجد النطفة البيضة عند وصولها إلى المكان الملائم؟ تتبع النطفة الجواذب الكيميائية التي تبعثها البيضة[١]، باستعمال حساس كيميائي يقودها نحو الهدف.

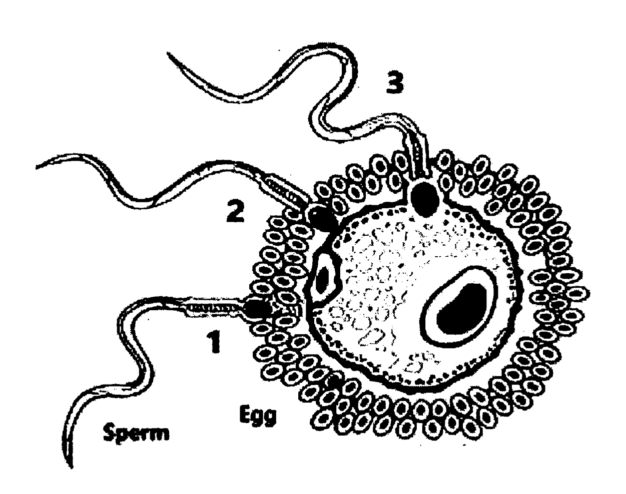
لكن لا يمكن أن تفوز النطفة المحظوظة بمجرد أن تكون هي الأسرع فقط. إذ تتحرك بعض النطاف بسرعة كبيرة وتصل قبل أن تظهر البيضة. كما تصل نطاف أخرى متأخرة جدًّا. ولجعل الأمر أكثر صعوبة، يوجد بوقان (قناتي فالوب)، وما يوجد هو بيضة واحدة في أحدهما فقط.

يفشل كل المتسابقون إلا قسمًا ضئيلًا في إيجاد البيضة في المقام الأول. من بين ملايين النطاف عند خط البداية، تصل عدة مئات فقط إلى البيضة. والوصول إلى البيضة ليس نهاية الصراع؛ إذ بقيت مرحلة اختراق جدار البيضة، وهو التحدي الأخير.

يحيط بالبيضة غلاف خارجي سميك يدعى المنطقة الشفافة، يحوي بروتينات مزينة بكربوهيدرات متفرعة. هناك حرفيًّا آلاف الطرز الكربوهيدراتية التي يمكن أن تستعملها البيضة لصنع هذه البروتينات السكرية، لكنها تصنع فقط النوع التي تتعرف عليه النطاف. هذا التطابق الكيميائي المثالي ضروري للنجاح.

تطابق كيميائي ضروري لكنه لا يكفي. ما زال على النطاف التي وصلت أن تشق طريقها عبر الغلاف السميك.

ولحسن الحظ جهزت النطفة بآلية لعبور المنطقة الشفافة. يغطي رأس النطفة بنيةٌ تدعى «الجسيم الطرفي». بمجرد احتكاك الجسيم الطرفي بالمنطقة الشفافة للبيضة، يطلق الأنزيمات الهاضمة الملائمة لتمكينه من حفر نفق عبر الطبقة الخارجية السميكة للوصول إلى غشاء البيضة. (انظر الشكل ٣, ٧). ثم يندمج غشاء النطفة مع غشاء البيضة.



الشكل 7.3: تكون اللحظة الأهم عندما يجد الفائز البيضة ويخترق غطائها الخارجي وغشائها (الخطوات من ١ إلى ٣) باستعمال ترسانة من إنزيمات صنعت بعبقرية. وبعد ذلك تمنع البيضة كل النطاف المتبقية من الدخول.

ولا تظل البيضة ساكنة خلال هذه العملية، بل تتحرك نحو النطاف المقتربة. يفرز الغشاء المخاطي الذي يبطن البوق (القناة الفالوبية) إفرازات تساعد على نقل كلٍّ من البيضة والنطاف والحفاظ على حياتهما. تكون البيكربونات وحمض اللبن في هذه الإفرازات هي مصدر أكسجين مهم للنطاف وللبيضة الملقحة النامية. كما يوجد الغلوكوز أيضًا، ليقدم طاقة داعمة تشبه مشروبات الطاقة لكل من البيضة والنطفة. ويوجد كذلك في الإفرازات مجموعة من المواد الكيميائية المصممة بصورة ملائمة لتقدم بيئة ملائمة للتخصيب.

إن الجوانب العديدة لهذا السباق من أجل الحياة آية في التنسيق. لا بد أن تكون الكيمياء ومستويات درجة الحموضة pH متوازنة بصورة تامة. بعد «الليلة الأولى» لا بد أن يتجهز الرحم لتعشيش البيضة الملقحة. يسبب تعشيش البيضة الملقحة تغيرًا مبرمجًا في الهرمونات التي ينتجها جسم المرأة، مثلًا يحفز البروجيسترون نمو الثديين. ثم تقوم لاحقًا مستويات الأستروجين المرتفعة في الدم بتحضير الثديين لإنتاج اللبن (بالتزامن مع هرمونات أخرى مثل الهرمون الملوتن).

ربما أكثر أعضاء فريق الدعم روعة في سباق الحياة أولئك الموجودون في الغشاء المخاطي. تجر بِني تشبه الشعر، تسمى الأهداب (مدفوعة بمحركات نانوية جزيئية) البيضة عبر البوقين باستعمال حركات متزامنة بصورة كبيرة مثل حركات أذرع وسيقان سباح بطل. تقوم حركة السباحة المتزامنة هذه، مع التقلصات العضلية المتزامنة لجدار البوق، بالإضافة إلى الدفع السوطي للنطاف، بتحريك النطاف والبيضة باتجاه بعضهما البعض.

يقول المثل القديم: «الاثنان صحبة، والثلاثة زحام» وإنه لمثل صحيح هنا. يجب أن يكون التلقيح لبيضة مفردة مع نطفة مفردة، لكن العديد من النطاف الأخرى تصل إلى البيضة، وستحاول اقتحام الحفلة. إذا اخترقت نطفتان البيضة، سيهلك الجنين بالفوضى الجينية الناجمة.

للوقاية من هذه المأساة، تحصل سلسلة من العمليات الكيميائية الحيوية المنسقة ببراعة بمجرد دخول النطفة الجدار الأول[٢]، يقوم جيش من الجنود الجزيئية بتقسية جدار البيضة

الخارجي بمجرد دخول النطفة الأولى، بما يمنع النطاف الأخرى (وهي ليست كثيرة في هذه المرحلة) من اتباعها. اختراق نطفة واحدة واندماجها مع البيضة يحفز تحرر ملايين أيونات الكالسيوم، التي تسبب اندماج الحبيبات القشرية داخل البيضة مع الغشاء البلازمي. تفرغ الحبيبات القشرية حمولتها خارج الخلية، وهي أنزيمات تهضم المنطقة الشفافة، وهكذا لا يمكن الآن أن ترتبط النطاف بالبيضة. تشكل جزيئات من الحبيبات في نفس الوقت طبقة حاجزة جديدة حول البيضة الملقحة. بهذه الطريقة تتم الوقاية من الحالة المميتة لتلقيح عدة نطاف بيضةً مفردة[٣].

حل العلماء مؤخرًا أحجية طويلة الأمد في البيولوجيا[٤] عندما اكتشفوا بأن زوجًا متطابقًا من البروتينات النوعية يسمح للنطفة بأن «ترسو» على البيضة. وهما بروتين جونو Juno، سمي على اسم آلهة الخصوبة الرومانية، يوجد على سطح البيضة، فيرتبط ببروتين نوعي للنطفة يدعى بـ «إيزومو Izumo»، سمي على اسم معبد ياباني للزواج. كيف تعلمت البيضة والنطفة هذه الخدعة المذهلة المرمزة؟

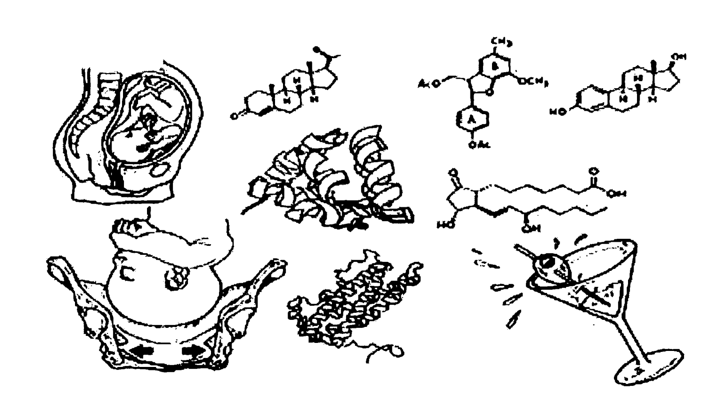
لا بد أن تتم هذه العملية المنسقة بعناية بشكل مثالي لكي **تبدأ** حياة بشرية. يجب أن يحدث كل شيء بالترتيب، ويجب تجنب وقوع أي خطأ، ولا بد أن تؤدي كل قطعة دورها وإلا لن يوجد إنسان جديد. بل إن مجرد فشل خطوة واحدة من الخطوات الضرورية يمنع ظهور حياة جديدة. فهي حالة إما أن يوجد الكل أو لا يوجد شيء. هل لديك أي فكرة أو هل قرأت أي ورقة علمية تشرح بالمصطلحات الجزيئية -المدعومة بالبيانات- كيف يمكن أن تجتمع مثل هذه العملية بخطوات صغيرة متتالية تطورية عمياء؛ بخطوة منفردة في كل مرة؟ لا تشعر بالسوء، فالكل مثلك. وأظن أن سبب ذلك أنها اجتمعت في الواقع ليس عبر تطور أعمى بل عبر بصيرة وتحضير حذر. هذا هو التفسير الأفضل، بالنظر إلى الأدلة الكثيرة المتنامية.

ولا تنتهي الضرورات المعقدة لوجود الإنسان قبل الولادة بمجرد التعشيش. فعند انتهاء هذه المرحلة الأولى المنسقة بعناية، تبدأ رحلة تسعة أشهر، وهي رحلة تتطلب أجزاء وعمليات متزامنة بعناية بالغة لكي يولد طفل حي يتنفس.

الترسانة الكيميائية من هرمونات الحمل

كما تطرقنا باختصار سابقًا، يتطلب الحمل سلسلة متعاقبة من التغيرات الكيميائية والمورفولوجية. تتحفز هذه الخطوات بسلسلة من المرسالات الكيميائية، وهي مزيج من الجزيئيات الحيوية الكبيرة والصغيرة الرائعة التي تُعرف معًا بالهرمونات (الشكل ٤ ,٧). فتتحكم بإنتاج البيضة، وتوقيتها، وتلقيحها، ونمو الجنين، وولادة الطفل بالنهاية من رحم أمه[٥].

الهرمونات أشكال جذابة من وجهة نظر كيميائية. فهي مجموعة خاصة ومتنوعة بنيويًا من المرسالات الكيميائية التي تتحكم بمعظم وظائف الجسم الأساسية، من العمليات الأساسية التي تحدث الجوع، إلى العمليات المعقدة جدًّا مثل التكاثر. بل تساهم الهرمونات أيضًا في العواطف والمزاج. يمكن كتابة كتاب آخر كامل عن البصيرة المتجلية فقط في هرمونات الحمل والجزيئات الحيوية الأخرى التي لا بد من توفرها لولادة الطفل الأول على وجه الأرض. سننظر فقط إلى مجموعة صغيرة (لكنها مذهلة) من الأمثلة هنا.



الشكل 7.4: مجرد عينة من مزيج متنوع من مرسالات الجزيئات الحيوية أو الهرمونات اللازمة لتنظيم الحمل والمخاض.

تحفز المواد الكيميائية المختلفة المعنية حصول أحداث حمل معينة، كما أنها تقي من مشاكل قد تقتل الطفل إن لم توجد. رغم أن بعض الهرمونات تؤدي أدورًا أكبر في الحمل، إلا أن جميعها ضروري لإنتاج طفل صحيح. لننظر إلى قائمة قصيرة من الهرمونات وخلاصة عن دورها:

هرمون FSH: يُعتقد أن الهرمون المنبه للجريبات (FSH) هو أول هرمون في شلال هرمونات الحمل، ويوجد في دم الأم حتى قبل الإخصاب. ينبه FSH إحدى الجريبات الحاملة للبيضة في المبيض، فيحفزها على النضج وبدء إنتاج هرمون الأستروجين.

هرمون LH: الهرمون الملوتن (LH) يعمل بالتناسق مع FSH منسقًا الدورة الطمثية ثم يصبح عاطلًا خلال الحمل. عندما ينبه FSH إنتاج الأستروجين، يطلق هذا المرسال ارتفاعًا في LH الذي يأمر الجريب المسيطر بإطلاق البيضة من المبيض. ثم تهاجر البيضة إلى البوق حيث تنتظر وصول النطفة الفائزة. يشكل الجريب المتوسع الجسم الملوتن corpus luteum أو الجسم الأصفر، الذي يتحلل خلال أسبوعين تقريبًا إذا فشل الجنين بالانغراس. أما إذا خصّبت البيضة فيكمل الجسم الأصفر نموه وينتج هرمونات كافية لتغذية ودعم الحياة الجديدة.

هرمون hCG: هرمون الغدد التناسلية المشيمية البشرية (hCG) هو مرسال «حصري للحمل» يطلق إنتاج هرموني الأستروجين والبروجستيرون بمجرد تخصيب البويضة. ومثل هرمون LH، فإن هرمون hCG مسؤول عن الحفاظ على الجسم الأصفر أو الجسم الملوتن في الجسم إلى أن تستلم منه المشيمة هذه المهمة. وبالأهمية نفسها، يقوم هرمون hCG بتثبيط جزء الجهاز المناعي للأم الذي قد يخطئ ويعتبر طفلها جسمًا غريبًا ويزيله. تنتج المشيمة الناشئة حديثًا هرمون hCG بعد بضعة أيام فقط من زراعة البويضة المخصبة من أجل «خداع» جيش الدفاع الجزيئي للأم. يستقبل الجنين في رحم الأم ويقيم فيه لمدة أربعين أسبوعًا يقتات من مغذياتها. وتكون كمية هرمون hCG مرتفعة للغاية أثناء الحمل بحيث يمكن قياسها عن

طريق اختبارات الحمل المنزلية. كما يحفز هذا الهرمون الجسم الأصفر لإنتاج المزيد من الأستروجين والبروجستيرون، فيرتفعان وينخفضان، لكن مستويات هرمون hCG تظل موجودة طوال فترة الحمل، وقد حملت على عاتقها دومًا مهمة حماية الطفل من أن يرفضه الجهاز المناعي للأم.

الأستروجين: لهذا الهرمون الكثير من المهام، ولكن مهمته الرئيسة هي مساعدة الرحم على النمو، مع تنظيم إنتاج الهرمونات الرئيسية الأخرى وتحفيز نمو أعضاء الطفل.

البروجستيرون: هرمون متعدد الوظائف يحفز نمو أنسجة الثدي، والأهم من ذلك أنه يساعد على تليين الأربطة والغضاريف لإعداد جسم الأم للمخاض، بحيث يمكن للطفل الخروج بسهولة.

الريلاكسين Relaxin (هرمون الاسترخاء): وهو أيضًا هرمون مهم للحمل. بدون هرمون الريلاكسين، سيذهب كل هذا التعب هباء، ويبقى الطفل محاصرًا داخل رحم الأم. لكن هذه الكارثة قد تم توقعها مسبقًا، وجُهِّز لها الحل المناسب:

يرسل هرمون الريلاكسين رسالة إلى جسم الأم لإرخاء العضلات والعظام والأربطة والمفاصل للسماح بتوسع عنق الرحم لجعل ولادة الطفل ممكنة.

هرمون hPL: هرمون اللاكتوجين المشيمي البشري (hPL) وهو الهرمون المسؤول عن إرسال الرسائل إلى ثدي الأم، ليجعله جاهزًا للرضاعة الطبيعية.

الأوكسيتوسين Oxytocin: يحفز هذا الهرمون تقلصات العضلات التي تنسق مخاض الولادة. كما أنه يحفز حلمتي الثديين من أجل الرضاعة الطبيعية ويعرف باسم «هرمون الحب»، لأنه يساعد الأم الوالدة على الارتباط العاطفي مع طفلها الجديد.

البرولاكتين: وهو مرسال آخر رائع للحمل. يحفز زيادة حجم ثدي الأم بحيث يمكنه أن ينتج حليبًا كافيًا للوليد الجديد. (بالمناسبة قد ثبت حاليًا أن حليب الأم أفضل للأطفال الرضع حتى من أفضل أنواع حليب الأطفال الاصطناعي). ودون هذا المزيج الجيد من

هرمونات الحمل، لن يوجد مواليد جدد، لأنه بعد مرحلة التعشيش لن يصل الطفل أبدًا إلى مرحلة المخاض دونها.

فتح الباب: توسع عنق الرحم

إن عنق الرحم هو الجزء السفلي من الرحم المفتوح على المهبل. مع نمو الطفل في الرحم أثناء الحمل، يقوم عنق الرحم بأداء وظيفتين أساسيتين. الوظيفة الأولى، أن يبقى متينًا وغير متحرك خلال أربعين أسبوعًا من الحمل. يحافظ عنق الرحم على بقاء الجنين النامي داخل الرحم حتى ينضج الطفل بدرجة كافية للمخاض. ولكن في وقت المخاض والولادة على وجه التحديد، تحدث أعجوبة استقلابية: يرسل المهاد مرسالات جزيئية إلى عنق الرحم ليخبره بأن الوقت قد حان ليصبح أكثر ليونة ومرونة.

قد يفترض المرء أن نضج عنق الرحم كان ميزة انتقائية اكتسبت على مدى أجيال عديدة من التطور الأعمى، ولكن لاحظ المشكلة الموجودة هنا. إن كان عنق الرحم في أول ولادة على الإطلاق، غير قادر على أن يحتفظ بالطفل في مكانه ثم يفتح في الوقت المناسب تمامًا، فإن هذا الطفل المسكين الأول من نوعه إما أن يطرد من الرحم مبكرًا جدًّا أو سيبقى محاصرًا داخل رحم الأم، مما سيؤدي إلى موت كلٍّ من الطفل والأم. فلن يوجد أول طفل، ولن توجد فرصة للتطور التدريجي على مدى أجيال عديدة.

التوسع الملائم في الوقت الصحيح لعنق الرحم شرط أساسي مسبق للتكاثر البشري. يتسع عنق الرحم أثناء الولادة أكثر بكثير من قطره الطبيعي (وهو ١-٣ سنتيمترات) لإفساح المجال لخروج الطفل. يكون عنق الرحم عادةً أسطوانيًّا تقريبًا وطويلًا وسميكًا، ولكن أثناء الولادة، يقصر عنق الرحم وتقل سماكته ويسحب للأعلى إلى الجزء السفلي من الرحم، مما يسمح بفتحه. هذا الاتساع المذهل، من ١-٣ سم إلى ١٠ سم، يخلق ممرًّا لرأس الطفل وبقية جسمه إلى القناة المهبلية. يمكن أن تحدث عملية التوسيع هذه بين عشية وضحاها، أو تتم تدريجيًّا على مدى يومين. تذكر أن إنضاج عنق الرحم يتم تحفيزه بواسطة هرمون الأوكسيتوسين، بمساعدة مستويات عالية من الأستروجين. هذا المحفز يطلق بدوره

مجموعة من الهرمونات الإضافية، والمعروفة باسم البروستاغلاندينات (P2 و PGE2)، والتي تؤدي معًا دورًا لا غنى عنه في توسع عنق الرحم والولادة. وفي بعض الأحيان يؤدي توسع عنق الرحم غير المناسب إلى مضاعفات في ولادة الطفل[٦]. وقد أدت هذه المضاعفات قبل ظهور الطب الحديث غالبًا إلى وفاة كل من الأم والطفل. قد يجادل المرء بأن هذا الفشل دليل على وجود عملية غير كاملة للتطور الأعمى تعتمد التجربة والخطأ، وليست دليلًا على بصيرة وتصميم من قبل مصمم حكيم.

وهذا اعتراض ذو أبعاد علمية وفلسفية وحتى لاهوتية. يمكن كتابة كتاب كامل حول هذا الموضوع، لكن لاحظ أنه افتراض لاهوتي يقول بأن المصمِّم الخيِّر والحكيم سيخطط لعالم خالٍ بالضرورة من كل الألم والمعاناة والموت. وقد قدم كبار المفكرين اللاهوتيين من مختلف الأديان حججًا قوية على عكس ذلك. لكن إن وضعنا الاعتبارات اللاهوتية جانبًا، ووضعنا جانبًا الأسئلة حول شخصية أي مصمم محتمل للطبيعة، فكر في السيناريو الخيالي التالي. اكتشفت في يوم ما أسطولًا من السيارات في أحد المستودعات، كانت كلها من الطراز نفسه. وكان من طراز أرقى تكنولوجيًّا من أي سيارة صممها البشر في أي وقت مضى. بحيث تبدو سيارة السباق فورميولا واحد Formula 1 مقارنة بهذا الطراز كعربة تجرها الأحصنة. ثم تكتشف لاحقًا أن بعض هذه المركبات الاستثنائية تواجه مشكلات في أنابيب الوقود المسدودة. سيكون هذا الفشل مثيرًا للاهتمام، ويستحق بالتأكيد إجراء تحقيق، ولكنه ليس سببًا كافيًا لنستنتج أن هذا النموذج المذهل من سيارة السباق لم يكن من عمل قاده التبصر والتصميم. فقط إنْ وجد تفسير آخر أفضل لمنشأ هذا الطراز، تفسير يعلل كل البصيرة والتصميم المطلوبين على ما يبدو لبناء مثل هذه السيارة عالية التقنية، ويجيب بدقة عن مشكلة أنابيب الوقود المسدودة، سيكون عندها من المعقول حتى مجرد التفكير بتجاهل تفسير يعتمد على التصميم. وبالطبع فإن تقديم تفسير لا يراعي كل التبصر والتصميم يحتاج إلى أكثر من طرح قصص غامضة تفتقر إلى التفاصيل.

بالنسبة للنظام الدقيق جدًّا الذي نتحدث عنه وهو حمل وولادة الإنسان، فإن أفضل التفسيرات التي ترفض اعتماد التصميم -أي: جميع الأطروحات المتنوعة الحديثة لنظرية داروين للتطور- لا تزال فقيرة إلى التفاصيل، وتميل بدلًا من ذلك إلى كل أنواع التلويح عن بعد.

بالنسبة إلى توسع عنق الرحم فالأعجوبة نفسها أن ينجح هذا التوسع أصلًا، فما بالكم بتكرار هذا التوسع المذهل مرات عدة، وبشكل جيد. وبمجرد ولادة الطفل، سيؤدي عنق الرحم خدعة أخرى ضرورية لصحة الأم. بمجرد خروج الطفل، تبدأ العملية تلقائيًّا في عكس اتجاهها، وسرعان ما يستعيد عنق الرحم حجمه الطبيعي ومتانته الطبيعية، ويعود إلى وظيفته الأخرى. كان لا بد من توقع مسبق لوجود حاجة إلى كلتا الخطوتين. توقع الحاجة إلى ضمان بقاء الطفل النامي داخل الرحم، رغم وضع الأم القائم؛ ثم توقع الحاجة الأخرى إلى كلٍّ من تمدد عنق الرحم ثم الانكماش في الأوقات المناسبة، وإن لم يوجد هذا الاستبصار المسبق فلن يولد أطفال.

الزائدة الدودية: أود الاستطراد قليلًا بالكلام عن الزائدة الدودية قبل الانتقال إلى الفصل التالي، وهي عضو لا يشارك في الحمل، ولكنه يمثل حالة مميزة لاستباق حل المشاكل المتوقعة قبل وقوعها: الزائدة الدودية عند الإنسان. عملية الهضم جزء أساسي من حياة الإنسان. ولنتزود بالتغذية اللازمة يقوم نظامنا الهضمي بالعمل مع مجموعة رائعة من الإنزيمات ومجموعة فاعلين على مستوى النانو (البكتيريا المعوية) بتحطيم الجزيئات الكبيرة من الطعام إلى جزيئات صغيرة يمكن لأجسامنا امتصاصها واستخدامها في الطاقة والنمو وإصلاح الخلايا. لكن في بعض الأحيان يوجد كائن مخرب في النظام -حرفيًّا- ويصاب البشر بالمرض، ويحتاجون إلى إزالة المواد الضارة من الجهاز الهضمي. هذه الإزالة تكون بشطف الأمعاء، وتتم عادة على شكل الإسهال وهو ضروري لصحتنا رغم انزعاجنا منه[٧]. عندما نصاب بالإسهال، فإن الجسم يزيل البكتيريا التي سببت المرض.

فتسمح الخلايا الموجودة في جدار الأمعاء بمرور كمية أكبر من الكمية المعتادة من الماء. اكتشف العلماء من خلال دراسة الجرذان أن هذه العملية تحفة من الإشارات الكيميائية، تشمل فعلًا يحفزه بروتين يدعى interleukin-22 يعمل مع بروتين آخر هو claudin-2.8، ولكن كحالة الحلول الهندسية الأكثر إبداعًا، غالبًا ما يخلق العلاج الشافي مشاكل جديدة. رغم أن الإسهال ضروري لكنه ليس انتقائيًّا تمامًا. فهو يقضي على سبب المرض، ولكنه خلال هذه العملية يزيل البكتيريا المعوية الجيدة أيضًا. وهي بكتيريا ضرورية لهضم الطعام جيدًا.

إذًا كيف يتخلص الجسم من هذه المعضلة؟ قد تدهشك الإجابة لأن النظرية التطورية علمتنا لسنوات طويلة أن العضو المعنيّ بحل هذه المشكلة هو مجرد بقايا تطورية عديمة الفائدة. يتكون جهازنا الهضمي من مجموعة دقيقة معقدة من الأعضاء المترابطة: السبيل المعدي المعوي الذي يمتد من الفم إلى الشرج مع الكبد والبنكرياس والمرارة، وكذلك المريء والمعدة والأمعاء الدقيقة، والأمعاء الغليظة.

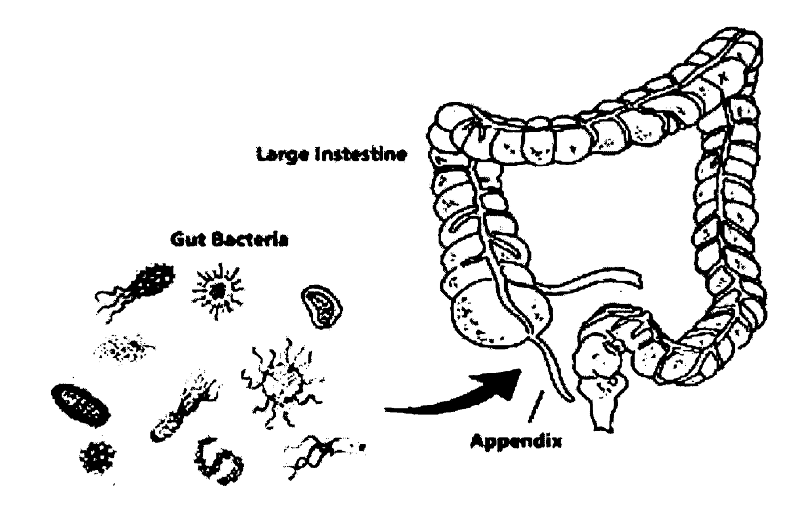
ولكن يوجد في مكان قصي من الأمعاء الغليظة، معزول عن بقية الجهاز الهضمي، عضو صغير منفرد، ولكنه مهم: ألا وهو الزائدة الدودية، كيس على شكل إصبع متصل بالأعور cecum. (انظر الشكل ٥ , ٧). افترض داروين وأتباعه أن الزائدة الدودية مجرد عضو أثري عديم الفائدة، من بقايا فترة كنا نسير فيها على أربعة أرجل ونأكل قُوتًا نباتيًا. لقد وضعت هذه الأسطورة التطورية ثم استمرت رغم عدم استنادها إلا على الخطب البلاغية الكثيرة والقليل من الأدلة، منذ جادل بها داروين في كتاب «**تطور الإنسان**»[٩].

على الرغم من أن الزائدة تزعجنا في بعض الأحيان، لا سيما في البلدان الصناعية بسبب قابليتها حاليًا للالتهاب[١٠]. نعلم الآن أن الزائدة تؤدي وظيفتين على الأقل (وبالتالي فهي جهاز قيم لا نرغب في خسارته إلا إذا كان من الضروري للغاية إزالته[١١]).

أولًا، تشكِّل مصدرًا لخلايا الدم المنتجة للأجسام المضادة، وبالتالي فهي جزء مفيد من نظام المناعة لدينا[١٢].

ثانيًا، تعمل كمأوى للبكتيريا المفيدة، فتعيد ملء الجهاز الهضمي بها بعد أن يزيلها الإسهال[١٣].

وموقعها مثالي من وجهة نظر الهندسة الهيدروليكية: تقع مباشرة أسفل التدفق العادي ذو الاتجاه الواحد من المواد الغذائية والجراثيم في الأمعاء الغليظة، وتحتل ردبة، وبالتالي فهي محمية بشكل جيد من الاضطراب الناجم عن الإسهال. يبدو أن الزائدة مفيدة أيضًا أثناء الهضم الطبيعي، لأنه كما بينت مجلة **نيتشر** لمراجعات علم الأحياء الدقيقة، من المحتمل أنها توفر مقصورة «مميزة تشريحيًّا» لزراعة البكتيريا الجيدة، وحماية البكتيريا المقيمة في الأمعاء الغليظة من منافساتها[١٤]. فالحجة الداروينية التي تقول: إن الزائدة من الأعضاء الأثرية وتدعم النظرية التطورية هي في حد ذاتها حجة أثرية، من بقايا علم الأحياء الداروويني في القرن التاسع عشر. وما نعرفه الآن هو الصحيح.



الشكل 7.5: الزائدة الدودية البشرية، التي اعتبرت بالخطأ قديمًا أنها عضو أثري، اكتشف أنها تعمل بمثابة مستودع للبكتيريا الأساسية.

الفصل الثامن
التخطيط للحواس

لنلقِ نظرة الآن على حواس الرؤية والشمّ والتذوق وقدرتنا على الشعور بالألم وعلى مشعر داخلي حاسم بالنسبة للتنفس، سوف نركز في الأغلب على حواس الإنسان ولكن ولنحافظ على تواضعنا فسوف نتوقف لبرهة ونبدي إعجابنا ببطل استنشاق من رتبة الحشرات، ألا وهو العثّ المتواضع.

عيون الإنسان

كنت سأعتبرَ نفسي مقصِّرًا لو ألّفت كتابًا حول البصيرة في علم الأحياء وأخفقتُ في سبر إحدى أهم أدلتها الدامغة؛ ألا وهي **الرؤية**.

إن الضوء المرئي هو مجموعة من الأمواج الإلكترو-مغناطيسية تتراوح أطوال أمواجها بين ٣٨٠ إلى ٧٤٠ نانومتر (النانومتر هو واحد في المليار من المتر)، عندما يسقط الضوء المرئي على جسم أو يمرّ عبر غاز فإنه يُمتَص أو يَنعكِس أو يَنكسِر (ينحني) أو يتبعثر. عندما يعكس الجسمُ جميع الأطوال الموجية بتساوٍ فإن العقل البشري يفسّر الجسم على أنه أبيضُ اللون، وعندما يمتصها جميعًا بتساوٍ يبدو لنا أسودَ اللون، وعندما يمتص بعض الأطوال

الموجية المرئية ويعكس الأخرى فإننا ندركه على أنه لون محدد مثل الأحمر أو البرتقالي أو الأصفر أو الأخضر أو الأزرق أو البنفسجي. وإن كيفية اختبارنا للألوان لها علاقة أيضًا بالسياق، فيؤدي كل شيء دوره بدءًا من ألوان الخلفية إلى درجة الألفة[١]. هنالك علاقة وثيقة بين الألوان وبين تفسير العقل لها، يمكن للحياة أن تكون قابلة للعيش على أفضل نحو في كون تغمره درجات الرماديّ ولكن ولسببٍ ما فإن الكون مفعم بالألوان ونحن نستطيع أن ندرك قوسَ قزحٍ منها.

تتضمن شبكيّة الإنسان النموذجية (الموجودة في مؤخرة كرة العين) ثلاثة أنواع من الخلايا المخروطية، وهي مستقبلات تُميّز بين ثلاثة ألوان رئيسية، بالإضافة إلى ملايين الألوان المركبة منها. وتحتوي أيضًا على ملايين من الخلايا المُستقبِلة تُسمّى العُصيّات وهي أكثر حساسية تجاه الضوء ولكن لا تستطيع تمييز سوى الأبيض والأسود. وكما توضّح جينفر ليونغ Jennifer Leong، ففي كلتا الحالتين، عندما يسقط الضوء على المُستقبِل تتشكل إشارات عصبية بوساطة تغيرات كيميائية، و«تُنقل هذه الإشارات بعد ذلك عن طريق خلايا ثنائية القطب وخلايا عقدية مجاورة تشكل العصب البصري، ينقل هذا العصب بعد ذلك المعلومات إلى القشرة البصرية في الدماغ»[٢]. تختلف حساسية العين من شخص لآخر ولكن يُقدّر بأن الأشخاص الذين يمتلكون رؤية ممتازة للألوان يستطيعون أن يميزوا ما يصل إلى ١٠ ملايين لونًا مختلفًا[٣].

ولكن مجرد القدرة على إدراك الألوان لا تكفي للبقاء لأننا نحتاج أيضًا إلى طريقة لتفسير معنى الألوان في الحياة اليومية.

يبدأ التفسير في خلايا العصب في العين، ولكنه يكتمل في الدماغ، تُعالج إشارات العصب الآتية من العين في القشرة البصرية للدماغ وهي معقدة ومتكاملة للغاية لدرجة تجعل أحدث الحواسيب تبدو كمحسب العدّ الخاص بتعليم الأطفال. لقد تطلّب تأهيل هذه القشرة البصرية شيئًا لا يمتّ للعملية العشوائية بصلة على الإطلاق: إنها «البصيرة». إن تنسيق هذا

التعقيد المتكامل الذي يمكننا من فهم ما نراه قد تطلّب **خطةً**، وكلما فكرت بهذا الموضوع أكثر وجدته أكثر إذهالًا.

الشمّ والتذوّق

طوّرَ العلماء مئات الأدوات والمناهج المختلفة عالية الحساسية والانتقائية لتحرّي وتحديد هوية المواد الكيميائية في الكثير من المختبرات التحليلية في مختلف بلدان العالم، مثل مختبرات قياس طيف الكتلة التي أشرفتُ عليها في البرازيل، تساعدنا هذه المناهج على فهم التركيب الكيميائي لأنواع مختلفة من الروائح والمشروبات والأطعمة حتى وإن كانت بكمية زهيدة بنسبة أجزاء من التريليون أو أقل.

ولكن وقبل وجود هذه التقنيات الحساسة الموصوفة أعلاه، احتاج الناس أن يقرروا ماذا يتناولون أو لا يتناولون دون توجيه من المعرفة العلمية، فكيف اتخذوا هذا القرار الجوهري؟ يجب أن تكون هذه المقدرة على فرز الطعام الجيد عن الطعام السيئ موجودة منذ البداية، من الصعب تخيّل كيف يمكن لهذه المهمة أن تُكتسب على مدى زمن طويل دون أن تنقرض الحياة أولًا. لطالما احتجنا أن نأكل ونشرب، ولطالما احتجنا أن نعرف **ماذا** علينا أن نأكل ونشرب، تخيّل أن تصطاد في الصباح، وتترك بقايا الطعام للعشاء في يوم صيفيّ حارّ ولا تدرك أن السمك قد أصبح زنخًا!

لدينا حل ذكيّ لهذه المشكلة، بالإضافة إلى مجموعة الأدوات التحليلية في أعيننا وقشرتنا البصرية (أكثر تعقيدًا بكثير من مقياس الطيف الضوئي الاصطناعي الخاص بالألوان) فإننا نمتلك مجموعة أدوات تحليلية في أنوفنا وألسنتنا ودماغنا، تمكننا أن نتذوق ونشمّ بحساسية ودقة فائقتَين، تفوق للغاية مشابهتها في مطياف الكتلة. وتتبع هذه الأدوات الحيوية قاعدة عامة: الأشياء التي تسبب لنا المرض بل وربما تقتلنا، تمتلك عادةً رائحة و/ أو مذاقًا سيئًا. رغم أن المناهج الحديثة في تحضير الطعام سمحت بأن نُحسّن ونحضّر ونتناول الكثير من الأطعمة التي في حال تناولها باعتدال تكون جيدة بالنسبة لنا، ولكن تناولها المفرط يسبب إشكالات، وبالطبع فمن الممكن أن يُخدع النظام، ويدلّ على ذلك وجود سموم

عديمة الرائحة والطعم، ولكن العجيب في الأمر هو مدى جودة حواسنا في التذوق والشمّ عمومًا عندما توجهنا بعيدًا عن الأطعمة المميتة، وتجذبنا نحو الأطعمة التي تزودنا بالمغذيات الصحية التي نحتاجها.

لطالما ساد اعتقاد بأن أنف الإنسان ضعيف بشكل أو بآخر، كتب أرسطو أن «الإنسان يمتلك حاسة شمّ ضعيفة»[٤]. واستنتج داروين مخطئًا أن حاسة الشمّ هي «خدمة ضعيفة للغاية»[٥]. بالنسبة للإنسان المتمدّن. إن هذه الانطباعات، والتي تضللها الفكرة الخاطئة عن كيفية سير الحياة، قد عززت إصرار عالِم التشريح العصبي من القرن التاسع عشر بول بروكا Paul Broca بأن الإنسان لا يمتلك حاسة شمّ جيدة، صحيح أن الكلاب تمتلك من مستقبلات الشمّ ما يفوق الإنسان بخمسين مرة، ويعني ذلك أن قوة الإشارة عند الكلاب أقوى غالبًا في العديد من الحالات، إلا أن الأنف السليم عند الإنسان رغم ذلك يمتلك نظام شمّ داخلي معقد[٦] قادر على تحري عدة آلاف من الروائح، وتصنيفها على أنها حلوة، أو لاذعة، أو حارّة، أو عطِرة، أو دافئة، أو جافة، أو حامضة. إضافةً إلى ذلك، وكما يشير جون ماكجان John McGann، فقد أظهرت دراسة حديثة أن «الإنسان يفوق في الأداء جرذان المختبرات والكلاب في تحري بعض الروائح، بينما يكون أقل حساسية تجاه روائح أخرى»، وأن «الإنسان، شأنه شأن باقي الثدييات، يستطيع التمييز بين عدد لا يُصدّق من الروائح، ويستطيع أيضًا أن يتتبع آثار رائحة في الهواء الطلق»[٧].

وكما استطرد ماكجان مبيّنًا، فإن البصلة الشمّية لدينا كبيرة بالقيمة المُطلقة مقارنةً مع الفئران والجرذان، وتحتوي عددًا من العصبونات يماثل تقريبًا ما تمتلكه البصلات الشمّية عند الثدييات الأخرى، ولذلك فنحن نستطيع «تحري مجال استثنائي من الروائح والتفريق بينها»، على الأقل تلك الروائح التي تهمنا[٨].

إن العلاقة بين المذاق السيئ والرائحة السيئة والطعام السيئ وطيدة لدرجة أننا، ومعظم الحيوانات، سوف نتضور جوعًا حتى الموت بدلًا من تناول اللحم النتن (ما عدا الطيور الجارحة التي تمتلك القدرة الهاضمة للتعامل مع الجِيَف النتنة)، تبدو إشارة اللحم النتن

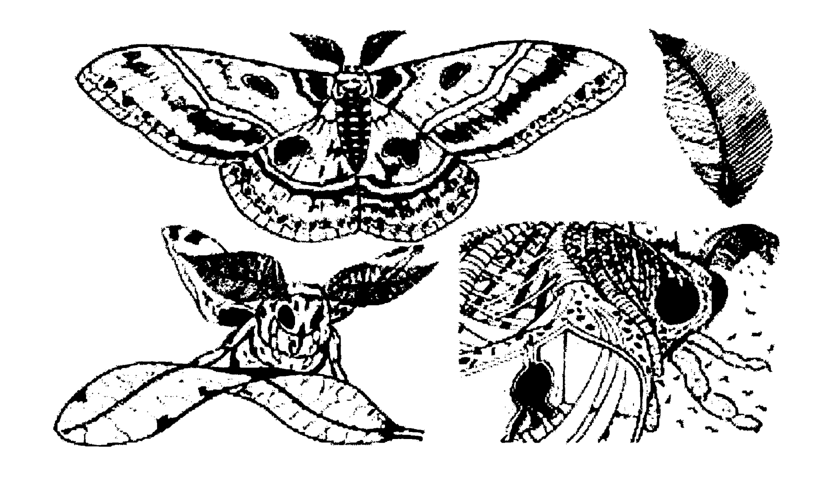
مخططة بعناية ذلك أنها تُطلق بعض أكثر الجزيئات المقيتة والطيارة على الأرض: جزيئتان ثنائيتا الأمين ذات رائحة موت قوية للغاية تسميان كادافيرين cadaverine وبوتريسين putrescine.

يستطيع لسان الإنسان أن يتبين خمس نكهات: مالح، وحلو، ومرّ، وحامض، ولذيذ - أي: الشهيّ-. (ووفقًا لدراسة حديثة فإن الإنسان قد يكون قادرًا أيضًا على تبيّن نكهة سادسة: الكربوهيدرات الأكثر تعقيدًا من السكريات البسيطة[9]). يتضامن الأنف واللسان سويةً مع الدماغ لدمج حاستيّ التذوق والشمّ، ولتحرّي الآثار الضئيلة للغاية للروائح والنكهات والتي لا يمكن تمييزها لوحدها. لدينا دقة في التذوق والشم أفضل بكثير لأن «مقياسَيّ الطيف الكتلي» عند الإنسان يعملان مع بعضهما بعض على هذا النحو. وكما وضّحت مقالة في مجلة **نيتشر** لعلم الأعصاب Nature Neuroscience، إن إدراك النكهة هو عملية متكاملة تُفعّل «في نظامَين عصبيَين محيطيَين منفصلَين، هما الشمّ والتذوق، اللذان يتّحدان «لكي يزوّداننا بحسّ فمويّ موحّد»[10].

العثّ

على صعيد حساسية الشمّ فإن البشر والكلاب مثيرون للإعجاب، ولكن بعض أفضل من يستطيع الشمّ هي الحشرات[11]. ومن بين الحشرات فإن ذكور العثّ «أبطال خارقون» يستطيعون شمّ محفّزات جنسية نوعية جدًّا على بُعد كبير (الشكل ١ ,٨).

بالطبع، فإنهم يستطيعون تحديد **جزيئة محددة واحدة** تسمى فيرومون قد أطلقتها أنثى العثّ من على بعد أميال، وذلك من بين عدد لا يُحصى من الجزيئات الأخرى الأكثر وفرةً.



الشكل 8.1: متحرٍّ كيميائي استثنائي: هوائيّ ذكر العثّ. باستخدام طريقة اعتيان ما قبل التركيز مشابهة للاستخلاص الدقيق بالطور الصلب (SPME)، وبتوظيف ما قد يُعتبر التحري الأكثر حساسية وانتقائية مما عرفه البشر، ذكر العلماء بأن هوائيّ ذكر العثّ يستطيع تحري جزيئة واحدة قد أطلقتها الأنثى من على بعد أميال.

تُنجز ذكور العثّ من عائلات مختلفة هذه المهمة الرائعة كليًّا مستخدمةً جهاز اعتيان مصمم بإتقان: هوائيّ عالي التعقيد يمتلك ما يقارب ٦٠,٠٠٠ مستقبل شمّيّ شبيه بالشعرة، يسمح شكل الهوائيّ العريض أن يكون على احتكاك مع أكبر حجم ممكن من الهواء من أجل أعلى حساسية ممكنة للاعتيان[١٢]. تعتمد الآلية التي تُمكّن ذكر العثّ من تحري تراكيز منخفضة للغاية من جزيئات الفيرومونات على مجموعة عالية التعقيد من البروتينات.

تؤكد مونيكا ستينغل Monika Stengl أن هذا التحري للرائحة عالي الحساسية والانتقائية «شرط مسبق للبقاء والتكاثر عند العديد من الحشرات وخصوصًا حشرات العثّ ذوات العمر القصير». تُطلق أنثى العثّ مزيجًا من الفيرومونات التي تجذب الشريك، وبتزامن معتمد على الوقت مع الأنثى، فإن ذكر العثّ يتعقّب جزيئات الإشارة الخاصة لدى الأنثى مستخدمًا الاعتيان الانتقائي وجهازًا شبيهًا بمقياس طيف ذي «حساسية مبهرة»[١٣]. ويتوجّب

على هاتين المقدرتين أن تكونا حاضرتين لكي يجد الشريكان المحتملان بعضهما بعضًا ويتكاثرا، إن وجود إحداهما دون الأخرى عديم الفائدة.

تكتب ستينغل: يتولى ذكر العثّ المهمة مستخدمًا حسّاسًا متخصصًا شبيهًا بالشعرة موجود على الهوائيّ، ويستطيع أن يمسح الهواء بوساطة مقتفي أثر الجزيئات الذي يتجه نحو الأمام عندما يطير معاكسًا لاتجاه الرياح، وعند قيامه بهذا فإنه يمتص حوالي ثلاثين بالمئة من جزيئات الفيرومونات المحبّة للدسم في الهواء المحيط، ويعود الفضل إلى سطح الهوائيّ الشمعيّ شديد الانتقائية، (يُحاكي هذا كيف يعتان الكيميائيون آثارًا من المواد باستخدام أنسجة الاستخراج الدقيق للطور الصلب الانتقائية). يَخفُق ذكر العثّ بجناحيه بتواتر عالٍ للغاية بحيث أن الخفقات السفلية من جناحيه تزيد تدفق الهواء لتعزز من جمع العينات الشبيهة ب الاستخراج الدقيق للطور الصلب SPME[١٤].

حتى وإن استطاعت الأنثى أن تنتج المزيج المناسب من الفيرومونات -وهي معجزة كيميائية في حدّ ذاتها- فإن الفيرومونات سوف تكون عديمة الفائدة إن لم يستطع الذكر تحريها بحساسية عالية للغاية مستخدمًا الحسّاسات المناسبة، واعتيان شبيه الاستخراج الدقيق للطور الصلب، إنَّ بناء نظام يُمكّن ذكر وأنثى العثّ من إيجاد بعضهما يتطلب بصيرةً في كل خطوة منه. إن كل استراتيجية، والكيمياء الحيوية المُضمَّنة والحسّاسات الحيوية، وكل جزء جسدي معنيّ هي «احتياجات أولية» لبقاء النوع، وفي حال غياب أحد هذه التفاصيل، وبالنتيجة عدم استطاعة الذكر والأنثى إيجاد بعضهما البعض، فسوف يخفقان في التكاثر وسينقرض النوع في وقت قريب.

ولتعقيد هذه المشكلة، يتوجب على البالغين من العثّ أن يتكاثروا خلال فترة حياتهم القصيرة للغاية، وبالتالي فعليهم أن يحددوا مكان شريكاتهم بسرعة كبيرة، ليس هنالك وقت على الإطلاق لانتظار التطور عبر دهر من الزمن، حقّقْ البصيرة والفيرومونات المناسبة والهوائيّ معًا، أو قل: وداعًا للعثّ.

من المؤكد أن الأحاسيس ليست جميعها مبهجة، إن الحياة رائعة ولكنها في أغلب الأوقات مؤلمة أيضًا، ألن يكون الجسد الذي لم يختبر الألم أفضل بكثير من الأجساد التي لدينا؟ في الحقيقة، إن الألم في الحياة سمة ذات قيمة استثنائية للبقاء، إنه يحمينا من المنبهات الضارة والخطرة، وعادة ما ينجم عن فقدان الإحساس بالألم الأذية، بل والموت أيضًا.

«دون الشعور بالألم، لن تستفيد من التمرين»، هي القاعدة المعروفة في النادي الرياضي، ونستطيع القول أيضًا: دون وجود الألم، فلن توجد الحياة[١٥]. سوف يطرح غياب الألم تهديدًا مهلكًا للحياة وذلك أن المخلوقات سوف تدفع بأنفسها إلى حد أبعد من حدود قوتها دون أن تدرك ذلك، أو ستتجاهل الأذية إلى أن تتطور من أذية ضارة إلى أذية قاتلة.

إن الألم المضبوط على نحو مناسب أمرٌ حاسمٌ لحماية الحياة[١٦]. على صعيد المثال، عندما يدوس الصبي على مسمار فإنه يشعر بألم شديد من خلال نهايات عصبية خاصة متحرية للألم موجودة في قدمه (مستقبلات الأذية)، والتي تتوضع على نحو ممتاز في الجلد والأنسجة الضامّة، تُنقل نبضة كهربائية مباشرة إلى العصبونات الحسية وتُثار نبضة عصبية فتُنقل إلى الجهاز العصبي المركزي من خلال عصبون مقوّي relay، ويوجّه هذا المقوّي بعد ذلك الإشارةَ بحسب مصدر الألم، إما إلى الدماغ أو إلى النخاع الشوكي، ومن ثم يعود إلى العضلات عن طريق العصبون الحركي، تتقلص العضلة بسرعة لتَحُدّ من الأذية وتحمي قدم الصبيّ، لأنه سوف يرفع قدمه بسرعة عندما يشعر بالألم. إن أمسك الصبيّ مقلاةً ساخنةً فسوف ترتدّ العضلة نتيجة إحساس الحرق المؤلم في يده، وفي حين ينخرط الجسم في العديد من الفعاليات اللاإرادية ليقلل من التهديد، فإن العقل الواعي لدى الصبي يشعر فقط بالألم ويتعلم الدرس كما نأمل.

من وخزة المسمار إلى الألم المبرح لعظم مكسور أو جلد محروق فإن الألم يجعلنا نعلم متى علينا أن نتصرف، ويعلمنا ما هو الجزء من جسدنا الذي يتطلب انتباهنا ويدفعنا لكي نعالجه.

ونتعلم أيضًا من خلال التجربة بأن شدة الألم تتدرج مع مستوى الأذية، وأنها تثير منبهًا لاإراديًا فقط عند الوصول إلى عتبة الأذية. تخيلْ الألم المبرح لو كانت حساسات الألم غير مضبوطة تمامًا، وشعرنا بالألم الشديد عند القيام بفعالية بسيطة مثل المشي على الرمل الحُبيبيّ أو عند تبادل عناق حميميّ.

ليس لدى الإنسان السويّ أي أعضاء خارجية حصينة ضد الألم، وإن أكثر الأعضاء هشاشةً هي أكثر الأعضاء حساسية تجاهه، دون الألم فإن الحياة ستكون تحت الخطر، لو أن الصبيّ الذي داس على المسمار لم يشعر بالألم، لبقي يدوس عليه أكثر مسببًا أذية عضلية وعصبية شديدتين ونزف دماء وعلى الأغلب إنتان خطر، لقد أعلمه الألم بشدة الأذية وأوقفه قبل أن يمتلك الوقت لكي يقوم برد فعل إرادي، دون وجود الألم فسوف نضع حياتنا وصحتنا على محكّ الخطر بأن نشترك بفعاليات خطرة دون أن نلاحظ.

وحتى نُقدّر الغرض من وجود الألم سوف نستعين بدراسة الحالة المعاكسة وهي حالة فقدان الألم الخلقي congenital analgesia وهو اضطراب نادر يمنع الأشخاص من الشعور بالألم[١٧]. يتسبب بهذا المرض، الذي قد يكون قاتلًا، طفرات[١٨] تدمر عدة جينات، وكما أشار مو كوستاندي Mo Costandi: «تُنتج الطفرات في جين *SCN9A* قنوات صوديوم غير وظيفية بحيث تبقى أنسجة الألم قادرة على تحري المنبه المؤلم، ولكنها تعجز عن إرسال الإشارات التي تخصه إلى الدماغ»[١٩].

تجعل هذه الحالة الحياةَ كابوسًا، إن الأشخاص المصابين بفقدان الألم الخلقي هم عرضة للجروح الخطرة والكسور والحروق، وإن هذه الحالة محفوفة بالمخاطر لدرجة أن المصابين فيها يموتون يافعين عادةً جرّاء الأذية الشديدة أو الأمراض التي لا يُنتَبه إليها[٢٠].

سجلت الكتابات العلمية حالات عديدة عن أطفال كانوا غير قادرين إطلاقًا على الإحساس بالألم الجسدي من أي نوع منذ يوم ولادتهم[٢١]. إن هؤلاء الأطفال، الذين يعانون من هذه الإمراضية الرهيبة عديمة الألم، يبدؤون بمضغ ألسنتهم خلال فترة بزوغ أسنانهم، ويبترون أيضًا أصابعهم وشفاههم دون وعيهم، ولن يعلم أهاليهم أنهم قد تعرضوا لالتهاب

الزائدة الدودية وأن عليهم اصطحابهم إلى الطبيب، لأن الطفل لا يشعر بأي ألم بطني وبالتالي لا يشتكي، يُحرقون أنفسهم أو يستمرون بلعب كرة القدم حتى يتسببوا بكسر كاحلهم، أو تلسعهم العناكب أو النمل دون أن يشعروا بأي شيء.

يضع التطوريون نظرية اكتساب الإحساس بالألم ببطء عن طريق الصدفة، لأنه قد قدّم منفعةً للبقاء، وصحيح أن تاريخ الحياة يشير إلى تقدم من حالة أقل إلى حالة أكثر حساسية. على سبيل المثال، فإن اللاسعات cnidarians (مثل: قنديل البحر وشقائق نعمان البحر والهيدرا) تمتلك شبكة بسيطة للغاية من الخلايا العصبية التي تتحرى المنبهات، هي منبهات اللمس غالبًا. وتمتلك دودة العلق شبكةً عصبية أكثر حساسية إلى حد ما، فتستجيب للمس والطعم والرائحة. إن مستقبلات الأذية هي عصبونات متخصصة قد يقول عنها بعض التطوريين: إنها على بعد قاب قوسين أو أدنى تطوريًا من هذه العصبونات الحسية الأخرى.

كل ما سبق يستحق أن يُدوّن، ولكن الأهم يكمن بين السطور، ما قد يبدو على أنه على بعد قاب قوسين أو أدنى بالنسبة لموقع مراقبة بعيد، قد يبدو فجأة مختلفًا تمامًا عندما نقترب أكثر ونستطيع أن نميّز البيولوجيا الجزيئية المعقّدة على نحو مروّع، متضمنًا معلومات الوراثة، ومعلومات فوق الوراثة، وأنظمة معالجة المعلومات. ومن موقع المراقبة هذا، يبدو الدرب التطوري فجأةً أكثر شبهًا بالدرب الذي لا بدّ أن لويس وكلارك قد شهداه بعد وصولهما للروافد العليا لنهر ميسوري، حيث وبدلًا من أن يجدوا نهرًا آخرَ على بعد مسافة قريبة من الضفة المقابلة التي تجري غربًا وتشكل الفاصل القارّيّ، فقد وجدا جبلًا يليه جبل على امتداد النظر. إن درب التطور هو هكذا وأكثر، وأبعد مما زُعم في البداية، يختلف التشبيه بأنه ليس لدى التطور أي مساعد مثل لويس وكلارك وساكاجاويا لتقوده على طول الطريق، أو بالأحرى، ليس لديه أي هدف. إن التطور أعمى وعديم الغرض.

وهل التشبيه المعاكس سليم؟ أتنبأ بأنه كلما زادت معرفتنا حول الخصائص الجزيئية عما يميز قدرتنا على الألم عن الأشكال الحية الأكثر بدائية؛ أصبح الحديث عن مسيرة تطورية سهلة يسيرة من A إلى B إلى C إلى D تفسح الطريق لمشهد غنيّ بالمعلومات عن آليّة جزيئية

إبداعية متناغمة ذات قدرات تفوق تمامًا الآليات من صنع الإنسان، ولا تمتلك دربًا تطوريًّا تفصيليًّا معقولًا من البدائي وحتى المعقد.

التنفس أو الموت

عندما **نفكر** في الحواس فإننا نفكر غالبًا في الحواس الخمسة الرئيسية -الرؤية والسمع واللمس والشمّ والتذوّق- ولكن جسمنا يمتلك عدة حسّاسات داخلية تقيس عوامل متعددة أساسية بالنسبة للبقاء، وترسل رسائلها إلى دماغنا لكي تبقيها متوازنة. مثلًا، تعتمد قدرتنا على التنفس على نظام تحرٍّ حساس للغاية -«حس» بالمعنى الدقيق للكلمة- يتتبع مستويات الأكسجين (O_2) في أجسامنا، وهذا مجرد مثال توضيحي واحد من مجموعة كاملة للحساسات والآليات الموازِنة.

من حسن الحظ أن O_2 موجود بوفرة في غلافنا الجوّيّ، لأنه رئيسيّ لحياة الإنسان ولجميع الأشكال الحية عمليًّا، ولكن يمكن لهذه الجزيئة ثنائية الذرة ذات الرابط المضاعف أن تكون مؤذية كما سبق ذكره. إن O_2 مفيدة فقط لأشكال الحياة المُهيَّئة لاستخدامها بطرق مضبوطة، أي مجهزة بالوسائل المخصصة اعتمادًا على مستوى تعقيد المتعضية ومتطلبات الطاقة، إن معظم أشكال الحياة مُجهّزة بأجهزة تنفسية وناقلة للدم مدهشة تأخذ O_2 من الهواء، وتحمله عبر أوعية الدم (باستخدام جزيئات حيوية مثل الهيموغلوبين) إلى حيث يُحتاج إليه، ومن ثمّ تعيد المنتج الثانوي. نحن نأخذ O_2 ونطرح منتجه الثانوي ثاني أكسيد الكربون (CO_2) عبر التنفس المستمر وبمعدل مضبوط جيدًا. إنه نظام ذو أداء محترف، نصف أوتوماتيكي، صامت، وسلس نظامٌ يعمل عادةً بجودة عالية لدرجة أننا لا نفكر فيه.

ويوجد بالطبع شذوذات بدائية في هذه الرواية، تتكون اللاسعات من طبقتين فقط من الخلايا ولذا فإن كل خلية على تلامس مع البيئة المائية وتحصل مباشرة على أوكسجينها، تمتص دودة الأرض O_2 ببساطة عن طريق الأدمة، ولذلك تصعد إلى سطح التربة بعد هطول أمطار غزيرة حتى لا تُغمر بالماء. هنالك إذًا حيوانات عديدة الخلايا لا تمتلك أي شيء معقد مثل الذي تمتلكه الفقاريات لمعالجة O_2. سوف يستخدم التطوريون ذلك لكي يسردوا قصةً

تربط الهيدرا البسيطة بما يعلوها في الشعبة الحيوانية واثقين تمامًا من قصتهم التطوزية، ولكن نقول مرةً أخرى إنها «مجرد» قصة تطورية أخرى، جمع النقيضَين عبر تفكير رغائبي فقير بالتفاصيل الجزئية، يسهب عند ذكر **السبب** ويَختزل الكلام عند ذكر **الكيفية**.

نحن نتنفس نموذجيًّا ما بين اثني عشر إلى عشرين مرة في الدقيقة، في كل يوم، على مدى حياتنا، يتكون التنفس من طورين، هما الشهيق والزفير. تتوسع رئتانا وتتقلص باستمرار لتزوّدا أجسامنا بالأكسجين O_2 وتطرحا الفضلات CO_2. عندما تستنشق فإن العضلات الوربية الظاهرة والحجاب الحاجز تتقلص مما يسحب الحجاب الحاجز نحو الأسفل ويحرّك الأضلاع نحو الأعلى والخارج بحيث يتوسع القفص الصدري وحجم الصدر، تؤدي الزيادة في حجم الصدر إلى إنقاص ضغط الهواء داخل الرئتين مقارنةً بالهواء الخارجي مما يسحب الهواء إلى الداخل عبر المنخرين، الفم، الحنجرة، والرغامى. وعند الزفير، تسترخي العضلات الوربية الظاهرة والحجاب الحاجز فيعود التجويف الصدري إلى سابق عهده الأصغر حجمًا، تطرد هذه الحركة الهواءَ خارج رئتينا[٢٢].

يتضمن التصميم المورفولوجي لجهازنا التنفسي القصبات الهوائية التي تتفرع عن الرغامى ومن ثمّ تنقسم في الرئتين إلى ممرات هوائية أصغر تُعرف باسم القُصيبات، والتي تنتهي في حوالي ٣٠٠ مليون من الأكياس الهوائية الصغيرة التي تشبه البالون وتسمى الأسناخ، ويحيط بكل منها شبكة من الأوعية الدموية الصغيرة تسمى الشُعيرات، ويمر في هذه الشعيرات O_2 المؤكسِد عبر جدار السنخ ويدخل إلى دمنا. يُحمَّل O_2 في الكريات الحمراء على جزيئة عالية التعقيد وهي الهيموغلوبين، عندما يجول الدم خلال الجسم يُطلق الهيموغلوبين O_2 إلى جميع خلايا الجسم، ويجمع الهيموغلوبين ذاته بعد ذلك الفضلات CO_2 ويعيدها إلى الرئتين حيث تمر إلى السنخ وتخرج مع هواء الزفير[٢٣].

تحدث جميع هذه المعالجات المتناغمة بدقة عادةً على نحو تلقائي ولا إرادي ويضبطها مركز التنفس في جذع الدماغ، أو النخاع المستطيل (البصلة السيسائية). يستمر التنفس حتى أثناء نومنا ويُضبَط حسب متطلبات O_2 المختلفة عند الراحة. يوجّه النخاع المستطيل النخاعَ

الشوكيَّ للحفاظ على التنفس، بينما يوطئ نمط التنفس بإشراف جسر فارول pons الذي يتوضع بالقرب من البصلة [٢٤].

يستخدم مركز التنفس مؤشر مستوى CO_2 في الدم الشرياني لكي يعدّل التنفس، يزيد CO_2 حموضة الدم، وفي حال ارتفعت حموضة الدم تُرسل المستقبلات الكيميائية إشارةً إلى مركز التنفس في الدماغ، والذي يرسل تغذية راجعة feedback لكي يزيد سرعة التنفس وعمقه، تطرد هذه العملية زيادة CO_2 وتجلب O_2 أكثر للداخل[٢٥].

إن كنت معرضًا لجو خانق يحوي القليل جدًّا من O_2 مثل جو N_2 السائد في مخبر قياس الطيف الكتلي أو على ارتفاعات شاهقة عند تسلّق الجبال، أو إن كنت معرضًا لجو يحوي الكثير جدًّا من CO_2 كما هو الحال في صومعة الذرة فإن الاستقلاب لديك سوف يتباطأ لكي يستهلك أقل ما يكون من O_2.

يمكننا أيضًا أن نلاحظ حساسات التنفس لدينا أثناء العمل في حالات نقص توفر O_2، عندما ينخفض تركيز O_2 في دمنا، ترتفع تراكيز CO_2، ويستبدل التدفق الطبيعي لـ O_2، ويُعاد توجيه معظم التدفق الدموي من الأطراف إلى أكثر عضوين حرجين: وهما الدماغ والقلب.

وفقًا لنتائج دراسة ذُكرت في مجلة **الخلية** cell، يبدو أن الدماغ أيضًا مُجهّز بحساس مقياس -كيميائي ضمني من أجل الاختناق الجوي[٢٦]. إن اللوزة amygdala -قيل: إنها عضو لا وظيفيّ (عديم الفائدة) تبعًا لتنبؤات تطورية مضللة- وهي على العكس من ذلك «جزء من دارة الخوف لدى الدماغ»، ويفسر جون ويمي John Wemmie من جامعة آيوا بأنها تعمل كحساس اختناق ومنبهة للجهاز العصبي الوديّ[٢٧]. يُنقِص استنشاق CO_2 من pH الدماغ وتمتلك اللوزة قناة أيونية حساسة للحمض (تعرف بـ $ASIC1_a$)[٢٨]، تُفعّل عن طريق مستويات pH المنخفضة، تُظهر النتائج بأن اللوزة تتحسس خطر ارتباكات CO_2 وتثير استجابةً أيضًا[٢٩].

إن التنفس وظيفة فريدة من وظائف الجسم لأنه يمكنه الاستمرار من تلقاء نفسه أو أن يُنظّم إراديًّا، ولماذا يلزم لآلية حيوية مثل هذه أن تكون قابلة للضبط الإرادي؟ يسمح الضبط

الإرادي لمعدل وشدة التنفس للإنسان أن يتكلم ويغني ويعزف الأدوات الموسيقية مثل الساكسفون والبوق، ويسمح لنا ضبط التنفس أن نمارس السباحة أيضًا.

ولكن هنالك ثمن للقدرة على التحكم بالتنفس، لأننا إن لم نعرف متى علينا أن نتوقف عن حبس النفس فقد نؤذي دماغنا وقلبنا بسهولة، وبالنتيجة فإن أعضاءً قد تتوقف عن العمل ويموت الدماغ، وبالتالي فإن مركز التحكم بالتنفس التلقائي في الدماغ يفرض تحكمه مجددًا وينبه الحجاب الحاجز للعمل، إن الحثّ على التنفس الذي يثيره الدماغ يزداد قوةً إلى درجة بالغة ولذا فإن قلةً من الناس يستطيعون أن يقاوموه وهم واعون، أما بالنسبة للإنسان النادر والذي يستطيع المقاومة فلا تزال هنالك آلية مساندة: سيغمى عليه، ويعود للتنفس مرةً أخرى، تنقذنا ديكتاتورية الدماغ في التنفس من الاختناق الذاتي.

إذًا عندما تلاحظ نفسك وأنت تتنفس في المرة القادمة، توقف وأبدِ إعجابك بهذا التصميم المدهش لجهازنا التنفسي، دون التداخل الدقيق بين التنفس التلقائي والطوعي والإلزامي عبر الحساسات الكيميائية والتغذية الاسترجاعية كلٌّ في مكانه فإن سكّان الأرض بما فيهم الإنسان ما كان ليقدّر لهم البقاء.

الخلاصة

دون كل هذه الأجهزة الحسية الدقيقة -وإنها بالفعل بضعة أمثلة فقط من بين الكثير من الأمثلة الممكنة- لم يكن للبشر أن يُوجَدُوا. كما أن هذه الحواس لا تسمح لنا فقط أن نبقى على قيد الحياة بل تسمح لنا أيضًا أن نختبر العالم المحيط بنا ونستمتع به، إن هذه الحواس حاسمة قولًا واحدًا، وفي الوقت ذاته فإنها هبة تجعل الحياة جميلة وجذّابة، يبدو تناغم الحواس هذا بالنسبة للكون بمجمله كناتج تخطيط مُحكم قد نُفِّذَ حتى قبل أن نعرف أننا نحتاجها، وقبل أن نفهم أهميتها.

الفصل التاسع
«البصيرة» ومستقبل العلم

حان الوقت للحصول على خلاصة سريعة، دعونا نرجع خطوة للوراء، وننظر في الآثار المترتبة على الأدلة في هذه الصفحات بالنسبة لمستقبل العلم.

تطور جنين الدجاج أمر يدعو للعجب. (ويمكنك فعلًا رؤيتها، لأن العلماء صوروا العملية[1]). لكن ما لا يقل عجبًا عن نموه الجنيني هو البيضة التي ينمو فيها. يحتوي صفار البيض وبياضه على كل الغذاء الذي سيحتاجه الفرخ قبل أن يفقس. تحتوي قشرة البيضة أيضًا على مسام مجهرية تسمح بدخول الهواء، لذلك يمكن للفرخ أن يتنفس. ثم يقوم الفرخ النامي بإنشاء شبكة من الشعيرات الدموية لامتصاص الأكسجين من الهواء وطرح ثاني أكسيد الكربون. تحبس أغشية خاصة في البيضة، قبل الفقس بوقت قصير، ما يكفي من الهواء حتى يتمكن الفرخ المكتمل النمو من أن يأخذ أنفاسه الأولى قبل أن يغادر القشرة. قشرة البيضة قاسية بما فيه الكفاية لحماية الفرخ النامي، لكنها هشة بما يكفي ليتمكن الفرخ الكامل النمو من مغادرتها. في الواقع، تعد محتويات البيضة وقشرتها تحفه هندسية، تُغذي وتحمي الفراخ الصغيرة. ولكن لن يكون هناك بيضة دون دجاجة لإعطائها. دون بيضة لا يمكن أن توجد

دجاجة، لكن دون دجاجة لن توجد بيضة. إنها المفارقة الدجاجة والبيضة الأساسية، المثال النموذجي من الحلقة السببية الأكثر فضولية: للحصول على A، نحتاج إلى B، ولكن للحصول على B، نحتاج أولًا إلى A. لا يمكننا الحصول على واحد دون الآخر. للحصول على الاثنين معًا، نحن بحاجة إلى «البصيرة».

نجد أمثلة على هذه الحلقة السببية -وبالتالي الحاجة إلى «البصيرة»- خلال الأنظمة الحية. كما رأينا، تحتاج الخلايا الحية إلى أغشية. دون غشاء خلوي، لن توجد حياة. إنها ليست أغشية فحسب، ولكنها الأغشية مع عدد لا يحصى من الفسفوليبيدات والقنوات التي تُمكن الخلية من السيطرة على بيئتها الداخلية. يلزم لعمل هذه القنوات بروتينات معقدة ومتخصصة.

ومع ذلك، في حالة عدم وجود كيمياء حيوية متينة، تُصنّع البروتينات الضرورية فقط في الخلايا التي كانت موجودة قبل وقت طويل من وجود الكيمياء الحيوية. دون أغشية خلوية مستقرة مجهزة بقنوات تعمل بالبروتين، لن توجد خلايا. لكن دون خلايا لن توجد بروتينات لتشكيل قنوات الغشاء.

أو تأمل هذا: نجد داخل الخلية الحية، الحمض النووي (DNA) والحمض النووي الريبي (RNA)، وكلاهما مناسب جدًا للوظائف التي يؤديها، من مكوناتها الكيميائية إلى كيمياء الجزيئات المعقدة ذاتها. دون (DNA) و(RNA)، لن تتمكن الخلية من تركيب البروتينات التي تحتاجها. ومع ذلك، فدون مجموعة من البروتينات المعقدة، لا يمكن للخلية تركيب المزيد من الحمض النووي، وبالتالي لا يمكن لها أن تنقسم أبدًا.

ودون مجموعة أخرى من البروتينات المعقدة، لن تكون الخلية قادرة على صنع RNA. دون DNA وRNA، لن توجد بروتينات. ودون بروتينات، لن يوجد DNA أو RNA. بعد ترجمة البروتينات من الحمض النووي الريبي (RNA)، تساعد الشابيرونات في طي البروتين بسرعة ليأخذ شكله ثلاثي الأبعاد الصحيح. دون الشكل الصحيح، لا يمكن أن يعمل البروتين بشكل صحيح.

لكن الشابيرونات مصنعة من البروتين. ومرة أخرى، لدينا الحلقة السببية. دون شابيرونات، لا توجد بروتينات. ودون بروتينات، لا توجد شابيرونات.

إنها ليست مجرد أنظمة حلقية سببية تتطلب «البصيرة». الطريقة التي يستعمل بها هيكل البكتيريا مادة الهيدرازين السامة لتحويل النفايات النيتروجينية وتجديد النيتروجين في الغلاف الجوي؛ الطريقة التي تستعمل بها حشرات إيسوس التروس المسننة بدقة للقفز؛ الطريقة التي يخزّن فيها الجمبري (الروبيان) الطاقة المرنة لتقوية ضربته الاستثنائية مع حماية يديه بالقفازات؛ الطريقة التي تستخدم بها الطيور التشابك الكمومي لاستشعار المجال المغناطيسي للأرض للتنقل عندما تهاجر؛ التنسيق بين الحيوانات المنوية والبيضة في التكاثر البشري؛ الطريقة التي تعمل بها الزائدة الدودية في استبدال البكتيريا المفيدة في الجهاز الهضمي بعد الإسهال؛ التعقيد المتكامل الذي ينطوي عليه حواس البصر والرائحة والألم: كل هذا يشير إلى الحاجة لـ«البصيرة».

خدعة الرجل الأعمى

ذكرت في الفصل الافتتاحي أن أنصار التطور قد أدخلوا إضافات وتعديلات أخرى على الآلية المركزية للداروينية الجديدة القائمة على الطفرات الوراثية العشوائية والانتقاء الطبيعي. وقد بالغ البعض في المضي في هذا الطريق لدرجة التخلي عن النظرية التركيبية للداروينية الحديثة مع التشبث بأمل إمكانية تطوير نسخة مادية عمياء بحتة للتطور. كان البحث المستمر عن هذا البديل للداروينية الجديدة موضوع اجتماع عام ٢٠١٦م للجمعية الملكية في لندن، والذي شمل العديد من أنصار التطور البارزين.

المقترحات المختلفة لإنقاذ نظرية التطور-بعضها أكثر عصرية وبعضها أقل- تشمل التوازن النقطي أو التوازن المتقطع punctuated equilibrium، والتطور المحايد neutral (التطور غير التكيفي non-adaptive)، والبيولوجيا التطورية أو التطور النمائي (evo-devo)، والتنظيم الذاتي self-organization، والوراثة فوق الجينية epigenetic، والهندسة الوراثية الطبيعية. ادعاءات كبيرة تم تقديمها لكل من هذه المقترحات وغيرها من التطور الأعمى،

ولكن في النهاية، فإن تلك الادعاءات، رغم أن مؤيديها بلا شك يؤمنون بإخلاص بها، إلا أنها ليست إلا خدعة فقط. فكل المقترحات تحوي عيوبًا خطيرة عندما يطرح كبديل عن البصيرة والتخطيط.

يحاول **التوازن النقطي**، على سبيل المثال، تعليل سبب رؤية عدد قليل من الحفريات الانتقالية في السجل الأحفوري للانتقال من شكل حيوان واحد إلى شكل حيوان مختلف اختلافًا جذريًّا، لكنه لا يوفر آلية موثوقة للتطور الجيولوجي السريع لأشكال جديدة. في الواقع، بغض النظر عن التحديات التي تواجهها الداروينية التقليدية الجديدة في هذا الصدد، فإن التوازن النقطي تواجهه التحديات بشكل مكثف، لأن الزمن الجيولوجي أقصر مما يلزم لبناء شكل جديد.

يشدد **التطور المحايد** على دور الانتقاء الطبيعي، ويركز على الطفرات التي كانت، على الأقل لفترة طويلة، محايدة أو ضارة من حيث التكيف. والفكرة هي أن مثل هذه الطفرات قد تسود في مجموعات صغيرة من الحيوانات، على سبيل المثال. تتمثل فائدة هذا النهج في أنه لم يعد على التطوريين تصور سلسلة من الخطوات المفيدة وظيفيًّا من نقطة البداية إلى تطور بعض الآلات الجزيئية أو الأعضاء أو المتعضيات. لكن هذه الفائدة تأتي بتكلفة هائلة، وهي تكلفة يميل مؤيدوها إلى التغاضي عنها. ستيفن ماير Stephen Meyer، في مناقشة العمل على التطور المحايد بقلم مايكل لينش Michael Lynch وآدم أبيج Adam Abegg، يشرح برسم توضيحي لرجل سقط في مكان واسع من الماء، ولكن لحسن الحظ خالٍ من الحيوانات المفترسة. (يعكس عدم وجود أي حيوان مفترس نمو التطور المحايد على حساب الانتقاء الطبيعي). يجب على الرجل الموجود في الماء أن يسبح إلى سلم يوجد في مكان ما في ذلك المسطح المائي الواسع ويتسلق السلم. المهم أنه معصوب العينين، وليس لديه أدنى فكرة عن مكان السلم. والآن، كما يشير ماير، إذا حاولت تقدير المدة التي سيستغرقها للوصول إلى السلم عن طريق حساب خط مباشر إلى حد ما بين الرجل والسلم، فستصل إلى «تقدير متفائل بشكل خيالي لخطورة المشكلة». في مواجهة سباحنا السيئ الحظ، «لأن الخط

المستقيم يحجب المشكلة الأساسية التي يواجهها السباح، وهي أنه لا يملك أدنى فكرة عن مكان السلم، ولا توجد طريقة لقياس اقترابه من السلم أو ابتعاده عنه في أي لحظة معينة».

يواصل ماير:

وبالتالي، فإن أي تقدير واقعي للوقت الذي سيستغرقه فعليًّا للسباحة إلى السلم -على عكس تقدير المسار الأسرع من الناحية النظرية- يجب أن يأخذ في الاعتبار تجوله على الأرجح بلا هدف، وتقطع جهده المبذول، والسباحة في دوائر، والانجراف في اتجاهات مختلفة. وبالمثل، أخطأ لينش وآبيج في حسابهما للطبيعة العشوائية غير الموجهة، وعديمة الهدف حرفيًّا، للآلية التي يقترحانها. فافترضا خطأ بدلًا عن ذلك أن عمليات التطور المحايدة ستشكِّل مسارًا مباشرًا إلى تكيفات معقدة ومحددة. في الواقع ستتجول هذه العمليات -في جميع الاحتمالات- بلا هدف في مساحة شاسعة من الاحتمالات المحايدة عديمة الوظيفة مع عدم وجود شيء لتوجيهها نحو أي تقدم قد تصنعه إلى الأمام أو للحفاظ عليه، التقدم نحو جزر معزولة ونادرة ممثلة بالتكيفات المعقدة. لهذا السبب، يقلل لينش إلى حد كبير من أهمية فترات الانتظار المطلوبة لتوليد تكيفات معقدة، وبذلك لا يحل مشكلة أصل الجينات والبروتينات، أو أي تكيف معقد آخر[٢].

وتوجد مشكلة أخرى فسباح التطور المحايد ليس فقط أنه معصوب العينين، ويجهل وجهته، ولا توجد عنده أي رغبة في الوصول إلى هناك؛ وهي أنه توجد مخارج أخرى في هذا المسطح المائي الواسع قد تؤدي إلى هلاكه، أو على الأقل إلى فقدانه أحد الأطراف. ذلك لأن التطور لا يسير في اتجاه واحد فقط. فيمكن للطفرات تحطيم الأشياء بسهولة أكبر من صنعها. والأسوأ من ذلك، أن هذا الميل نحو الطفرات الضارة لن يُكبح بينما يسعى التطور المحايد وهو أعمى باحثًا عن طفرة أو سلسلة من الطفرات التي تبني شيئًا جديدًا.

صحيح أنه تؤدي هذه الانقطاعات التطورية في بعض الأحيان إلى مزايا خاصة، كما ناقشها مايكل بيهي Michael Behe في كتابه تراجع داروين Darwin Devolves. لكن كما ذكر

بيهي أيضًا، لم يتم بناء أي آلية جزيئية جديدة في مثل هذه الحالات، وهذا هو بالضبط أصل الآليات الجزيئية الجديدة والمعلومات التي يحتاج أي تفسير تطوري لتنوع الحياة إلى تعليلها، سواء كان تطورًا محايدًا أو غير ذلك.

بالمثل تواجه المقترحات التطورية البديلة الأخرى أوجه قصور مدمرة؛ فما ينقصها جميعًا هو الخلطة السرية في كل نجاح هندسي كبير: إنه التبصر والإبداع والتخطيط.

مبدأ البصيرة أو الموت

الحاجة إلى التنبؤ بمشاكل قاتلة محتملة في الخطة، وحلها مبكرًا -يمكن ملاحظتها في كل مكان حولنا- يتضح من الأمثلة العديدة في هذا الكتاب أن الحياة مليئة بالحلول التي كان لا بد من التنبؤ بالحاجة إلى حلها لتجنب العديد من الطرق المسدودة. وبكلمة أخرى، تتطلب العديد من الوظائف والأنظمة البيولوجية التخطيط لتؤدي عملها. تنطق هذه الملامح بقوة ضد النظرية التطورية الحديثة بجميع أشكالها، والتي لا تزال مرتبطة بالعمليات العمياء.

كما رأينا في الفصل الثاني أيضًا، لا يقتصر دليل البصيرة في الطبيعة على أمثلة من علوم الحياة. فأثناء بحثنا في الأرض والكون، رأينا كيف ظهر أن عقلًا عبقريًا توقع مجموعة من الطرق المسدودة المحتملة، في كل شيء من الفيزياء وعلم الكونيات إلى الكيمياء والجيولوجيا، وهي حالات قد تجعل الحياة مستحيلة.

دون وجود بصيرة، لن توجد الحياة: درسنا في هذا الكتاب العديد من الحالات التي تجسد هذا المبدأ. ودراستنا بالكاد تلامس سطح الموضوع. إن الأمثلة العديدة للحلول التي توقعت المشكلات قبل ظهورها، والإبداع الواضح في تلك الحلول، والحاجة إلى التنفيذ المتناسق والمتزامن لمكونات متعددة تعمل بكامل طاقتها منذ بداية النظام الحالي، يمثل كل ذلك تحديًا كبيرًا للتطور الأعمى. ولا يتحدى التطور الأعمى فحسب، بل يتحدى المذهب المادي الذي يرتكز عليه، لأن البصيرة تتطلب شيئًا أكثر من مجرد المادة المتحركة. البصيرة هي السمة المميزة للعقل.

لقد ازدهرنا نحن البشر على الأرض بفضل العديد من قدراتنا الفريدة. بسبب امتلاكنا القدرة على الكلام وصياغة الأدوات المتطورة وزراعة المحاصيل وتربية المواشي. أطلقنا الطائرات والسفن الفضائية، وغصنا إلى أعماق المحيطات بالغواصات. نكتب البرامج التي تشغل الهواتف المحمولة والروبوتات. نقوم بتركيب البوليمرات لصنع الملابس، والأدوية لعلاجنا من الأمراض. نغني ونؤلف الأغاني والمسرحيات وغير ذلك الكثير. فأكثر ما يميزنا في مملكة الحيوان، ليس شيئًا ميكانيكيًّا أو ماديًّا؛ بل تميزنا يكمن في عقولنا. فيمكننا مع عقولنا دراسة الماضي، وفهم الحاضر، وتوقع المستقبل إلى درجة لا مثيل لها في المملكة الحيوانية. نحن نتكهن، أكثر من أي حيوان آخر.

ومع ذلك، وكما شهدنا خلال هذا الكتاب، فإن أعمال البصيرة الاستثنائية واضحة في جميع أنحاء العالم الطبيعي، في كل شيء من أغشية الخلايا إلى آليات هجرة الطيور.

وتتجاوز هذه الأمثلة بكثير في دقة تعقيدها أي أمثلة عن البصيرة الهندسية التي ربما نشير إليها في الثقافة الإنسانية.

أين يصل بنا هذا الدليل؟ لنأخذ حالة البصيرة في الطبيعة على خطوات:

١- نشاهد العديد من الأمثلة الواضحة على البصيرة في العالم الطبيعي –للمشاكل التي يتم توقعها قبل نشوئها– وحلت ببراعة مع التنفيذ في الوقت المحدد لأجزاء متعددة وأساسية ومنسقة جيدًا.

٢- نحن نعلم من تجربتنا المتماثلة أن القدرة على توقع وحل مثل هذه المشاكل هي سمة من سمات العقول الذكية.

٣- لا توجد أمثلة **مثبتة** للعمليات غير الموجهة وغير الهادفة التي تتوقع وتحل المشكلات التي تتطلب تزامنًا متطورًا للأجزاء الدقيقة، كلها مجتمعة في البداية لحدث النشوء. لا يُحسب التلويح للحالات التي تفترض ولا تثبت بالدليل. ولا تُحسب الحجج

القائمة على منطق المصادرة على المطلوب، على سبيل المثال: «يجب أن تعني الصفات المشتركة الأصل المشترك»، و«الأصل المشترك يجب أن يعني التطور الأعمى».

٤- لذلك، فإن خبرتنا المشتركة توفر لنا نمطًا واحدًا فقط من الأسباب مع القدرة الواضحة على توقع وحل مثل هذه المشكلات: إنه التصميم الذكي.

٥- وهكذا فالتصميم الذكي يقدم أفضل التفسيرات، بل هو فعلًا التفسير السببي الوحيد للأمثلة الكثيرة على وجود البصيرة الواضحة في العالم الطبيعي، وذلك للحالات التي تحل فيها المشكلات ببراعة مع التنفيذ في الوقت المحدد لأجزاء متعددة وأساسية ومنسقة جيدًا. البصيرة ليست واضحة فحسب، ولكنها حقيقية.

ولا يعني هذا عدم وجود أي أسباب ثانوية تعمل، وأنه لم ينتج شيء عن الأنماط الشبيهة بالقانون والشروط الموجودة مسبقًا. يجعلنا الانفتاح على برهان البصيرة منفتحين على التفكير في كل من الوسائل الأولية والثانوية. يمكننا ببساطة في كل حالة قيد البحث، اتباع الأدلة بدلًا من التقيد بقاعدة المصادرة على المطلوب.

وسواء إن كان الدليل يشير إلى العلاقة السببية الأولية أو السببية الثانوية أو إلى توليفة ما، فإنه لا يزال يترتب على ذلك الحاجة للعقل في التنبؤ بالعديد من النهايات المسدودة المحتملة والهروب منها. تمتلئ الحياة والكون بحالات الهروب الذكية هذه، وهي حلول بارعة تصرخ في صالح التصميم الذكي.

أمر إضافي:

أتذكر ليلة مظلمة في منزل ريفي لصيد الأسماك في مدينة سانتا في دو سول في البرازيل. لقد كانت ليلة صافية، وبعيدةً بشكل كافٍ عن المدينة الكبيرة، ما شاهدته للمرة الأولى، مشهد رائع لسماء ليلة مظلمة لم تتأثر بالتلوث الضوئي للمدن، رأيت عددًا كبيرًا من النجوم البراقة. ثم سألت نفسي: «من الذي صنع كل هذه النجوم التي لا تُحصى ووضعها هناك؟» يندفع الإنسان لنسب هذه العجائب إلى شخص كلي القدرة تقريبًا. ولكن في هذه الأيام يستنكر هذا الاندفاع بشدة.

لكن هل ظهر الكون ببساطة من العدم؟ لا؟ حسنًا، فهل خرجت إذًا آلة سحرية منشئة للأكوان المتعددة من لا شيء، وكانت في حد ذاتها قد ضُبطت بدقة لتنتج من حين لآخر أكوانًا صالحة للحياة؟ وسواء بدأنا من كوننا أو من كون متعدد متخيل، فهل خرج للوجود فجأة الضبط الدقيق لقوانين وثوابت الطبيعة؟ - كم نحن محظوظون! وبعد ذلك تطور كل شيء بصورة عمياء إلى أن وصلنا للحياة الأولى على الأرض، أول خلية تخرج بشكل عشوائي من الحساء البدائي؟ ثم انتقل منها إلى أول حياة متعددة الخلايا، فأول النباتات والحيوانات، وأول الرئيسيات، وأول البشر؟

هذه هي قصة الخلق عند الملحد.

وعلي باعتباري كيميائي أن أعترف، بأن إيماني أضعف من الاعتقاد بهذا الدين.

إننا نشهد جمال الحياة ودقة تعقيدها على كوكب الأرض، ونرى العديد من الميزات المدهشة التي تظهر أنها قد خُطط لها بعناية فائقة، ويُطلب منا أن نعتقد بأن هذه العجائب قد خرجت متعثرة عمياءً من الفراغ البارد، لتعود إليه في يوم من الأيام. هل يصح قول كارل ساغان الذي ترنم به بنغمات دينية في بداية سلسلة محطة PBS الشهيرة: «إن الكون هو كل ما يوجد أو وجد أو سيوجد»؟[٥].

أم أن هناك شيئًا إضافيًا؟

على الرغم من وفرة العجائب التي حولنا، فمنذ أكثر من قرن ونصف اقتنع كثير من العلماء بأن الإجابات عن هذه الأسئلة الجوهرية قد عُثر عليها، وأن كل أعاجيب العالم الطبيعي كما عبر عالم الأحياء التطوري فرانسيسكو أيالا Francisco Ayala تعود إلى »اشتراك الفرصة والضرورة بالتعاون بدقة في مادة الحياة؛ وتشابكت العشوائية والحتمية في العملية الطبيعية التي نشرت الكيانات الأكثر تعقيدًا وتنوعًا وجمالًا في الكون: الكائنات الحية التي تملأ الأرض، بما في ذلك البشر الذين يفكرون ويحبون»[٦].

في هذا الرأي، قدم التطور تصميمًا بلا مصمِّم. نرى دليلًا على تصميم هادف في الكون وفي أنفسنا، لكن يفترض بنا أن نعتقد بأنه مجرد وهم، وأن هذه العملية واقعيًّا لا تسترشد بأي

شيء باستثناء قوانين وثوابت الطبيعة والتي تشكل ببطء كل ما نعرفه -الكون، والنجوم، والمحيطات، والسماء، والسحب، وDNA وRNA، والريبوزومات، والبكتيريا، والأسماك، والطيور، والشمبانزي، ونحن-.

هكذا يقال لنا.

للأسف، قيدتْ هذه القصة العلم، وضيقت آفاقنا، وأماتت حس التساؤل فينا.

لكن لحسن الحظ دخل أخيرًا بعض الهواء النقي إلى المشهد. ينمو دليل «البصيرة والتصميم» في الطبيعة تدريجيًّا ليكون أكثر وضوحًا مع تتالي الاكتشافات العلمية. وعلى عكس الفلسفة المادية، فإن الانفتاح على دليل التصميم الذكي يوسع آفاق العلم.

وصف هذا الكتاب عددًا من آليات الحياة الذكية. لكنها ليست ذكية فقط. فهي ليست مزايا يمكن اكتسابها على مر الزمن عبر عملية تطورية فقط؛ إنها «ضرورات أولية»، أي سمات تحتاجها الكائنات الحية للبقاء على قيد الحياة وتزدهر منذ بداية انطلاقتها. في كل حالة منها تظهر هذه الحلول للعالم أجمع على أنها قد خُطط لها مسبقًا ووُجدت من لحظة البداية.

ليس لدى النظرية التطورية الحديثة الكثير عندها لتفسير مبدأ **دون بصيرة لن توجد حياة،** لأن المطلوب هو التوقع والتخطيط، وهذا النشاط تتفرد به العقول. بعد ليل طويل من النزعة الطبيعانية التي فُرضت على البحث العلمي، فُتحت النوافذ على مصراعيها، وطُرحت أسئلة جديدة وقديمة، ويجد الكثير منا أنفسنا في نقاش نشط. هذا جيد جدًّا! لتتراجع العقيدة وتكتيكات القمع. أمامنا نظريتان أساسيتان لنشأتنا. فليقف المتنافسون وليقدم الدليل، ودعونا نتحاور ونناقش بروح النوايا الحسنة واللعب النظيف. ولتفوز النظرية التي تفسر الأدلة على أفضل وجه.

مثل هذا السعي الصريح للحقيقة هو في نهاية المطاف، عنصر أساسي لجعل العلم مثيرًا ومرضيًا. أنا من جهتي سعيد بأن أعيش حاليًا، بأفكار واكتشافات ومناقشات جديدة للتمتع بها.

ماذا ستكون النتيجة؟ لا أستطيع أن أعبر عن مدى سرعة استعداد العلماء الآخرين لاتباع الأدلة إلى حيث تقودنا، لكنني أعرف أن أولئك المستعدين للالتفات إلى أدلة البصيرة في الطبيعة يشاركون في ثورة علمية رائعة ومثيرة فكريًا. مدعومة بأدوات جديدة للتحقيق، واكتشافات جديدة حول العالم، هذه الثورة قد أثريت بإحياء فكرة أصيلة: **فكرة التصميم**.

رأى مؤسسو العلوم الحديثة -كوبرنيكوس، وغاليليو، وكبلر، ونيوتن، وبويل، وكثيرون آخرون- تصميمًا في الكون، وكان مصدر إلهامهم لاكتشاف قوانين الطبيعة بالفعل هو إيمانهم بالمتسامي الذي وضع ميزان القوانين.

أما بالنسبة لرحلة الاكتشاف الرائعة التي أطلقوها، فلا يبدو أن هناك نهاية في الأفق. ذكر جي. جي. تومسون، الحائز على جائزة نوبل، أحد أوائل عمالقة الفيزياء الحديثة، ومكتشف الإلكترون، ومؤسس مطياف الكتلة، وهو مجال تخصصي، بشكل جميل هذه النظرة المتفائلة والمفتوحة للعلم. لا أستطيع أن أفكر في أي كلمات أفضل لختم كتاب عن عالم مليء بالدلائل على «البصيرة»، وكلمات صادقة اليوم كما كانت عندما صاغها طومسون في أوائل القرن العشرين:

مجموع المعرفة في الوقت الحاضر، وبكل التقديرات، سلسلة متباينة وليست متقاربة. بينما نتغلب على القمة تلو القمة نرى أمامنا مناطق مليئة بالاهتمام والجمال، لكننا لا نرى هدفنا، ولا نرى الأفق؛ في برج المسافة لا تزال هناك قمم مرتفعة، ستفتح أمام من يصعدون إليها آفاقًا أوسع، وتعمق الشعور بالحقيقة التي أكدها كل تقدم في العلم، «**عَظِيمَةٌ هِيَ أَعْمَالُ الرَّبِّ**»[٧].

الملاحظات الختامية

الفصل الأول

البصيرة في الحياة

1. Sheref S. Mansy et al., “Template-Directed Synthesis of a Genetic Polymer in a Model Protocell,” Nature 454 (2008): 122.

2. أذكر هنا دقة المقاييس الإلكترونية للحرارة ومقاييس درجة الحموضة في عملي ككيميائي

3. Diego de Mendoza, “Temperature Sensing Membranes,” Annual Review of Microbiology 68, no. 1 (September 2014): 101–16, https://doi.org/10.1146/annurev-micro-091313-103612.

4. Jack W. Szostak, David P. Bartel, and P. Luigi Luisi, “Synthesizing Life,” Nature 409, no. 6818 (2001): 387–90.

5. David J. Siminovitch, P. T. T. Wong, and Henry H. Mantsch, “Effects of Cis and Trans Unsaturation on the Structure of Phospholipid Bilayers: A High-Pressure Infrared Spectroscopic Study,” Biochemistry 26, no. 12 (1987): 3277–87.

6. Sheref S. Mansy et al., “Template-Directed Synthesis,” 122–5. See also Charles L. Apel, David W. Deamer, and Michael N. Mautner, “Self-Assembled Vesicles of Monocarboxylic Acids and Alcohols: Conditions for Stability and for the Encapsulation of Biopolymers,” Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes 1559, no. 1 (2002): 1–9.

7. Armen Y. Mulkidjanian, Michael Y. Galperin, and Eugene V. Koonin, “Co-evolution of Primordial Membranes and Membrane Proteins,” Trends in

Biochemical Sciences 34, no. 4 (2009): 206–15.
8. Mulkidjanian, Galperin, and Koonin, "Co-evolution of Primordial Membranes," 206.
9. Mario Borgnia et al., "Cellular and Molecular Biology of the Aquaporin Water Channels," Annual Review of Biochemistry 68 (1999): 425–58.
10. Kazuyoshi Murata et al., "Structural Determinants of Water Permeation through Aquaporin-1," Nature 407 (2000): 599–605.
11. Urszula Kosinska Eriksson et al., "Subangstrom Resolution X-Ray Structure Details Aquaporin-Water Interactions," Science 340, no. 6138 (2013): 1346–1349.
12. "Nobel Prize in Chemistry 2003," The Nobel Prize, Nobel Media AB, https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2003/.
13. This phrase is from Richard Dawkins, Climbing Mount Improbable (New York: W. W. Norton & Company, 1996).

الفصل الثاني
استبصار عالِم للكيمياء الحيوية

1. For more on the universal constants and the fine-tuned intricate universe they reveal, see: Ethan Siegel, "It Takes 26 Fundamental Constants to Give Us Our Universe, But They Still Don't Give Everything," Forbes, August 22, 2015, https://www.forbes.com/sites/ethansiegel/2015/08/22/it-takes-26-

fundamental-constants-to-give-us-our-universe-but-they-still-dont-give-everything/#2209877a4b86.

2. See Geraint F. Lewis and Luke A. Barnes, A Fortunate Universe: Life in a Finely Tuned Cosmos

(Cambridge, England: Cambridge University Press, 2016). For an older online summary, see Jay W. Richards, "List of Fine-Tuning Parameters," Discovery Institute's Center for Science and Culture, https://www.discovery.org/f/11011.

3. Fred Hoyle, "The Universe: Past and Present Reflections," Engineering and Science 45, no. 2 (1981): 8.

4. "The Peculiar Properties of Ice," Evolution News & Science Today, August 7, 2012,

https://evolutionnews.org/2012/08/the_peculiar_pr_1/.

5. Preston Dyches and Felicia Chou, "The Solar System and Beyond Is Awash in Water," NASA, April 7, 2015, https://www.nasa.gov/jpl/the-solar-system-and-beyond-is-awash-in-water.

6. For a fuller exploration of water's near-miraculous properties, see Michael Denton, The Wonder of Water: Water's Profound Fitness for Life on Earth and Mankind (Seattle, WA: Discovery Institute Press, 2017).

7. A famous and controversial "memory of water" paper was once published in Nature and exemplifies how an appealing theory can be proposed and published in prestigious journals without much—if any—solid evidence. The paper reported the why and when but neglected to address the critical question of how. The paper: E. Davenas et al., "Human Basophil Degranulation Triggered by Very Dilute Antiserum against IgE," Nature 333, no. 6176 (1988): 816–8.

نشرت في نيتشر ورقة مشهورة مثيرة للجدل «ذاكرة الماء»، وهي مثال لكيف تطرح نظريات وتنشر في مجلات مرموقة دون وجود دليل قوي عليها أو حتى دون أي دليل. فقد سجلت الورقة متى ولماذا، وأهملت تناول السؤال المهم «كيف».

8. For a detailed online discussion of water's many life-friendly anomalous properties, see Martin Chaplin, "Anomalous Properties of Water," Water Structure and Science,
http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_anomalies.html. For a brief online discussion, see Steven Dutch, "Ice Floats," Intelligent Design. Intelligently, http://www.stevedutch.net/Pseudosc/IntelIntel.htm. Dutch makes several good points, though he mischaracterizes design theory near the end of the section. He writes: "So why don't Intelligent Designers say much about the remarkable properties of water? Well,
the fact that water not only organizes into a structure when it freezes, but actually does so strongly enough to force things to give it room, sort of blows a

large hole in their claim that order can't arise from natural processes." But "Intelligent Designers" actually have made a big deal about the remarkable properties of water. Guillermo Gonzalez and Jay Richards, both ID proponents, did so in their book The Privileged Planet, published three years before Dutch created the page. More recently, Discovery Institute, an institutional hub for scientists and scholars exploring and advocating the theory of intelligent design, published a book on the subject, The Wonder of Water by Michael Denton. Further, the theory of intelligent doesn't posit that order can't arise from natural processes. William Dembski, for instance, in
his 1998 Cambridge University Press book The Design Inference, and in many subsequent intelligent design works, draws a distinction between the periodic order of such things as crystals and whirlpools, on the one hand, and on the other hand, what he terms complex specified information (CSI)—which is nonrandom but also aperiodic—such as we find in human language, computer software, and DNA. Generating significant amounts of novel CSI through blind natural forces—that's what design theorists argue doesn't happen. More on the wonders of DNA in a later chapter.

9. Dutch, "Ice Floats."

10. Sand to M. Charles Poncy, September 12, 1844, in Letters of George Sand: Vol. 1, trans. Raphaël Ledo de Beaufort (London: Ward and Downey, 1886), 355.

11. For a discussion of some of these factors, see Bess B. Ward and Marlene M. Jensen, "The Microbial Nitrogen Cycle," Frontiers in Microbiology 5 (2014): 553.

12. Asta Juzeniene and Johan Moan, "Beneficial Effects of UV Radiation Other Than via Vitamin D Production," Dermato-Endocrinology 4, no. 2 (2014): 109–117.

13. "Ozone: Good Up High, Bad Nearby," Office of Air and Radiation, U.S. Environmental Protection Agency, June 2003,
https://www3.epa.gov/airnow/gooduphigh/ozone.pdf.

14. Fakhra Anwar et al., "Causes of Ozone Layer Depletion and Its Effects on Human [Health]: Review," Atmospheric and Climate Sciences 6 (2016): 129–134.

15. David L. Drapcho, Douglas Sisterson, and Romesh Kumar, "Nitrogen Fixation by Lightning Activity in a Thunderstorm," Atmospheric Environment

17, no. 4 (1983): 729–734.
16. Martin A. Uman, "Natural Lightning," IEEE Transactions on Industry Applications 30, no. 3 (1994): 785e90.
17. V. A. Rakov, "The Physics of Lightning," Surv Geophys 34 (2013): 701–729.
18. Donald E. Canfield, Alexander Glazer, and Paul G. Falkowski, "The Evolution and Future of Earth's Nitrogen Cycle," Science 330, no. 6001 (2010): 193.
19. E. E. Ferguson and W. F. Libby, "Mechanism for the Fixation of Nitrogen by Lightning," Nature 229 (1971): 37.
20. David Fowler et al., "The Global Nitrogen Cycle in the Twenty-First Century," Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 368, no. 1621 (2013): 1.
21. Fowler, "The Global Nitrogen Cycle," 1–2. As they further note, NOx molecules also play key roles "in the photochemical production of ozone and other key oxidants and radical species." See also J. N. Galloway et al., "Nitrogen Cycles: Past, Present, and Future," Biogeochemistry 70, no. 2 (2007): 153–226; Richard P. Wayne, Chemistry of Atmospheres (Oxford: Clarendon Press, 1991); I. S. A. Isaksen, et al., "Atmospheric Composition Change: Climate–Chemistry Interactions," Atmosphere Environment 43, no. 33 (2009): 5138–5192.
22. Fowler, "The Global Nitrogen Cycle," 2.
23. Andrei Linde, "Multiverse: A Brief History of the Multiverse," Reports on Progress in Physics 80, no. 2 (2015).
24. For an in-depth exploration of fine tuning and the case for and against the multiverse solution to the finetuning problem, see Lewis and Barnes, A Fortunate Universe.

25. For an extended case that planetary and cosmological fine tuning is best explained by reference to an intelligent cause, see Guillermo Gonzalez and Jay W. Richards, The Privileged Planet: How Our Place in the Cosmos is Designed for Discovery (Washington, DC: Regnery, 2004).
26. Nancy R. Pearcey and Charles B. Thaxton, The Soul of Science: Christian Faith and Natural Philosophy (Wheaton, IL: Crossway Books, 1994).
27. Kansas State Department of Education, Standards Development Committee, Kansas Science Education Standards, February 2007, xii,

http://www.rv337.com/pages/uploaded_files/sci_standards_Aug07b.pdf.
28. Gary J. Nabel, "The Coordinates of Truth," Science 326, no. 5949 (2009): 53–54.

الفصل الثالث

شيفرة الحياة

1. Manfred Eigen et al., "How Old is the Genetic Code? Statistical Geometry of tRNA Provides an Answer," Science 244, no. 4905 (1989): 673–79.

2. Feng Yue et al., "A Comparative Encyclopedia of DNA Elements in the Mouse Genome," Nature 515 (2014): 355–364. By some estimates, genomes differ only between 3% and 8% from one mammal species to another. This may be true for mammals, but not for other species. A detailed examination of fruit flies, for instance, revealed "that only 77% of the approximately 13,700 protein-coding genes in D. melanogaster are shared with all of the other eleven species." Quoted from "Scientists Compare Twelve Fruit Fly Genomes," National Institutes of Health, November 7, 2007, https://www.nih.gov/news-events/newsreleases/scientists-compare-twelve-fruit-fly-genomes.
3. There are widely varying estimates for the percentage of genetic information shared in common between humans and bananas. For the 60% figure, see Lydia Ramsey and Samantha Lee, "Our DNA is 99.9% the Same as the Person Next to Us—and We're Surprisingly Similar to a Lot of Other Living Things," Business Insider, April 3, 2018, http://www.businessinsider.com/comparing-genetic-similarity-betweenhumans-and-other-things-2016-5.
4. F. H. Westheimer, "Why Nature Chose Phosphates," Science 235, no. 4793 (1987): 1173–1178.
5. Ryszard Kierzek, Liyan He, and Douglas H. Turner, "Association of 2'-5' Oligoribonucleotides," Nucleic Acids Research 20, no. 7 (1992): 1685–1690.
6. Shina C. Kamerlin et al., "Why Nature Really Chose Phosphate," Quarterly Reviews of Biophysics 46, no. 1 (2013): 1–132, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23318152.

7. Gaspar Banfalvi, "Why Ribose Was Selected as the Sugar Component of Nucleic Acids," DNA Cell Biology 25, no. 3 (2006): 189–96.
8. James Tour, "Animadversions of a Synthetic Chemist," Inference: International Review of Science, 2.2 (May 2016), https://inference-review.com/article/animadversions-of-a-synthetic-chemist.
9. Stephen J. Freeland and Laurence D. Hurst, "The Genetic Code is One in a Million," Journal of Molecular Evolution 47 (1998): 238–248. Note that for the DNA with its deoxyribose sugar, the 2'-OH group was removed, so DNA hydrolysis is no longer assisted by a favored intramolecular TS, and the attack of a base must therefore come from "outside." DNA is well-protected from hydrolysis since it is fully surrounded by an electrical shield provided by the phosphate anion wire discussed earlier.
10. Gerald F. Joyce, "The Antiquity of RNA-Based Evolution," Nature 418 (2002): 214–221. How does the apparently "silent" 2'-OH group help RNA undergo hydrolysis about one hundred times faster than DNA? It's a marvel of engineering. Via a cyclic intermediate, with intramolecular assistance from the OH group at the 2' position of the ribose cycle (nanometrically calibrated to be there), a six-membered transition state is formed when a base, in an alkaline medium, attacks it, removing its acidic proton. This forms an alkoxy anion intermediate, which then intramolecularly attacks the phosphate wire in a well coordinated SN2 mechanism, breaking the wire and therefore "digesting" RNA.
11. Philip Ball, "DNA: Celebrate the Unknowns," Nature 496 (2013): 419–420.
12. "Why Did Mother Nature Use Uracil to Replace Thymine in mRNA (Messenger Ribonucleic Acid)? What Is the Advantage of Using U Instead of T in the RNA?" NSTA WebNews Digest, National Science Teachers Association, September 16, 2006,
http://www.nsta.org/publications/news/story.aspx?id=52606.
13. A. M. Lesk, "Why Does DNA Contain Thymine and RNA Uracil?" Journal of Theoretical Biology 22, no.3 (1969): 537–40; Greg A. Freyer and Michael Sturr, "Why Did Mother Nature Use Uracil to Replace Thymine." (Note that the citation of this article in the previous endnote (sans Freyer and Sturr) is to a statement from the digest editors further setting up the question that Freyer and Sturr answer in their responses.)
14. Michael Onken, "Why Does Uracil Replace Thymine in RNA?" MadSci Network, November 11, 1997,

http://www.madsci.org/posts/archives/dec97/879354206.Bc.r.html.
15. Jörgen Jonsson, Maria Sandberg, and Svante Wold, "The Evolutionary Transition from Uracil to Thymine Balances the Genetic Code," Journal of Chemometrics 10, no. 2 (1996): 163.
16. Beáta G. Vértessy and Judit Tóth, "Keeping Uracil Out of DNA: Physiological Role, Structure and Catalytic Mechanism of dUTPases," Accounts on Chemical Research 42, no. 1 (2009) 97–106.
17. Freyer, answer to "Why Did Mother Nature Use Uracil?" (cited above).
18. Walter Gilbert, "Origin of Life: The RNA World," Nature 319 (1986): 618.
19. David J. D'Onofrio and David L. Abel, "Redundancy of the Genetic Code Enables Translational Pausing," Frontiers in Genetics 5 (2014): 1.
20. Christina E. Brule and Elizabeth J. Grayhack, "Synonymous Codons: Choose Wisely for Expression," Trends Genet. 33:4 (2017): 283–97.
21. Thomas Charles Butler et al., "Extreme Genetic Code Optimality from a Molecular Dynamics
Calculation of Amino Acid Polar Requirement," Physical Review E 79, no. 6 part 1 (2009): 060901.
22. "The Nobel Prize in Chemistry 2015," The Nobel Prize, Nobel Media AB, https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2015/.
23. "The Nobel Prize in Chemistry 2016," The Nobel Prize, Nobel Media AB, https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2016/.
24. Kelson M. T. Oliveira and Elaine Harada, "Synthetic Routes of the Fundamental Building Blocks of Life: Computational Study of the Reaction Free Energy," Revista Processos Químicos 18 (2015): 139–143, http://bkp.sbqt-2015.net.br/arquivos/Anais/RPQ_sbqt_2015_especial_12NovV2.pdf.
25. Gary Habermas, "My Pilgrimage from Atheism to Theism: A Discussion between Antony Flew and Gary Habermas," Faculty Publications and Presentations, Liberty University, 2004, 201, https://digitalcommons.liberty.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1336&context=lts_fac_pubs.
26. Francis H. Crick, "The Origin of the Genetic Code," Journal of Molecular Biology 38, no. 3 (1968): 367–79.

الفصل الرابع

مساعدات الحياة

1. Sylvia S. Mader, Biology: 10th Edition (New York: McGraw Hill, 2009), 236.
2. A. Ralston, "Operons and Prokaryotic Gene Regulation," Nature Education 1, no. 1 (2008): 216.
3. James Shapiro, "A 21st Century View of Evolution: Genome System Architecture, Repetitive DNA, and Natural Genetic Engineering," Gene, 345, no. 1, (2005), 92–93.
4. Carl Zimmer, "Scientists are Designing Artisanal Proteins for Your Body," The New York Times, December 26, 2017, https://www.nytimes.com/2017/12/26/science/protein-design-david-baker.html.
5. Lars Giger et al., "Evolution of a Designed Retro-Aldolase Leads to Complete Active Site Remodeling," Nature Chemical Biology 9 (2013): 494–498.
6. F. Ulrich Hartl, Andreas Bracher, and Manajit Hayer-Hartl, "Molecular Chaperones in Protein Folding and Proteostasis," Nature 475 (2011): 324.
7. R. A. Quinlan and R. J. Ellis, "Chaperones: Needed for Both the Good Times and the Bad Times," Philosophical Transactions of the Royal Society B 368, no. 1617 (2013): 20130091.

8. Laurence A. Moran, "Protein Folding, Chaperones, and IDiots," Sandwalk, August 20, 2011,

http://sandwalk.blogspot.com.br/2011/08/protein-folding-chaperones-and-idiots.html

9. Susmita Kaushik and Ana Maria Cuervo, "Proteostasis and Aging," Nature Medicine 21, no. 12 (2015): 1406.

10. M. Beissinger and J. Buchner, “How Chaperones Fold Proteins,” Journal of Biological Chemistry 379, no. 3 (1988): 245.
11. Antony Latham, “New Research on Protein Folding Demonstrates Intelligent Design,” Centre for Intelligent Design, July 2011, https://www.c4id.org.uk.
12. Moran, “Protein Folding.”
13. N. M. Lissin, S. Yu. Venyaminov, and A. S. Girshovich, “(Mg–ATP)-Dependent Self-Assembly of Molecular Chaperone GroEL,” Nature 348 (1990): 339–342.
14. Satish Babu Moparthi et al., “Transient Conformational Remodeling of Folding Proteins by GroES—Individually and in Concert with GroEL,” Journal of Chemical Biology 7, no. 1 (2014): 11.
15. Bruce Alberts et al., Molecular Biology of the Cell: Sixth Edition (New York: Garland Science, 2017), 355.
16. F. Ulrich Hartl et al., “Protein Folding,” 326.
17. F. Ulrich Hartl et al., “Protein Folding,” 325.
18. Moran, “Protein Folding.”
19. Quinlan and Ellis, “Chaperones.”
20. Quinlan and Ellis, “Chaperones.”
21. Clyde A. Hutchison III et al., “Design and Synthesis of a Minimal Bacterial Genome,” Science 351, no. 6280 (2016): 1414.
22. Koji Yonekura, Saori Maki-Yonekura, and Keiichi Namba, “Building the Atomic Model for the Bacterial Flagellar Filament by Electron Cryomicroscopy and Image Analysis,” Structure 13, no. 3 (2005): 407–12. For more information on the exquisite structure of the flagellar filament, see also Saori Maki-Yonekura, Koji Yonekura, and Keiichi Namba, “Domain Movements of HAP2 in the Cap–Filament Complex Formation and Growth Process of the Bacterial Flagellum,” Proceedings of the National Academy of Science 100, no. 26 (2003): 15528–33.
23. For more on the flagellar cap and how it suggests intelligent design, including an animated video, see Jonathan M., “The Flagellar Filament Cap: One of the Most Dynamic Movements in Protein Structures,” Evolution News & Science Today, August 3, 2013,

https://evolutionnews.org/2013/08/the_flagellar_f/.
24. Jonathan M., "The Flagellar Filament Cap."
25. D. F. Blair and K. T. Hughes, "Irreducible Complexity? Not!" in Microbes and Evolution: The World That Darwin Never Saw, eds. R. Kolter and S. Maloy (Washington, DC: ASM Press, 2012), 275–80; W. Ford Doolittle and Olga Zhaxybayeva, "Evolution: Reducible Complexity—The Case for Bacterial Flagella," Current Biology 17, no. 13 (2007): R510–2.
26. Jonathan M., "The Flagellar Filament Cap."
27. Kenneth R. Miller, "The Flaw in the Mousetrap: Intelligent Design Fails the Biochemistry Test," Natural History 75 (2002).
28. Shin-Ichi Aizawa, "What is Essential for Flagellar Assembly," Pili and Flagella: Current Research and Future Trends (Norfolk, UK: Caister Academic Press, 2009), 91.

الفصل الخامس
الجراثيم والحشرات والنباتات الآكلة للحوم

1. For more on the synergy of microbes and life, see: "How Microbes Make Earth Habitable," Evolution News & Science Today, February 10, 2016, https://evolutionnews.org/2016/02/how_microbes_ma/; "More on How Microbes Make Earth Habitable," Evolution News & Science Today, February 14, 2016, https://evolutionnews.org/2016/02/more_on_how_mic/.
2. J. Gijs Kuenen, "Anammox Bacteria: From Discovery to Application," Nature Reviews Microbiology 6, no. 4 (2008): 320–6. See also Andreas Dietl et al., "The Inner Workings of the Hydrazine Synthase Multiprotein Complex," Nature 527, no. 7578 (2015): 394,

https://www.nature.com/articles/nature15517.

3. Laura van Niftrik and Mike S. M. Jetten, "Anaerobic Ammonium-Oxidizing Bacteria: Unique Microorganisms with Exceptional Properties," Microbiology Molecular Biology Reviews 76, no. 3 (2012): 586, https://mmbr.asm.org/content/76/3/585.
4. Mike S. M. Jetten et al., "Biochemistry and Molecular Biology of Anammox Bacteria," Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology, 44, no. 2–3 (June 2009), 65.
5. Jetten et al., "Biochemistry and Molecular Biology of Anammox," 65–84.
6. Marcel M. M. Kuypers et al., "Anaerobic Ammonium Oxidation by Anammox Bacteria in the Black Sea," Nature 422 (2003): 608–611. See also Laura van Niftrik and Mike S. M. Jetten, "Anaerobic Ammonium-Oxidizing Bacteria: Unique Microorganisms with Exceptional Properties," Microbiology Molecular Biology Reviews 76, no. 3 (2012): 585–596.
7. Van Niftrik and Jetten, "Anaerobic Ammonium-Oxidizing Bacteria," 585.
8. For more on hydrazine properties and uses see "Hydrazine," PubChem Compound Database, National Center for Biotechnology Information, accessed Sept. 20, 2018, https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/hydrazine#section=Top.
9. Laura A. van Niftrik et al., "The Anammoxosome: An Intracytoplasmic Compartment in Anammox Bacteria," FEMS Microbiology Letters 233, no. 1 (2004): 7–13.
10. Jaap S. Sinninghe Damsté et al., "Linearly Concatenated Cyclobutane Lipids Form a Dense Bacterial Membrane," Nature 419 (2002): 708–712.
11. Jack van de Vossenberg et al., "Enrichment and Characterization of Marine Anammox Bacteria Associated with Global Nitrogen Gas Production," Environmental Microbiology 10, no. 11 (2008): 3120. 12. "Rocket Science in a Microbe Saves the Planet," Evolution News & Science Today, November 23, 2015, https://evolutionnews.org/2015/11/rocket_science_1/; "Tagish Lake Meteorite Does Not Solve Homochirality Problem," Evolution News & Science Today, July 30, 2012, https://evolutionnews.org/2015/11/rocket_science_1/t.
13. Andreas Dietl et al., "The Inner Workings of the Hydrazine Synthase Multiprotein Complex," Nature 527 (November 2015), 394.
14. "Rocket Science in a Microbe."
15. Holger Daims et al., "Complete Nitrification by Nitrospira Bacteria," Nature 528 (2015): 504–509.
16. Joseph Stromberg, "This Insect Has the Only Mechanical Gears Ever Found in Nature," Smithsonian Magazine, September 12, 2013,

https://www.smithsonianmag.com/science-nature/this-insect-has-theonly-mechanical-gears-ever-found-in-nature-6480908/#Jh26s1gRI4ObrI15.99.
17. Malcolm Burrows and Gregory Sutton, "Interacting Gears Synchronize Propulsive Leg Movements in a Jumping Insect," Science, 341, no. 6151 (September 2013), 1254.
18. University of Cambridge, "Functioning 'Mechanical Gears' Seen in Nature for the First Time," September 12, 2013,
https://www.cam.ac.uk/research/news/functioning-mechanical-gears-seen-innature-for-the-first-time.
19. Jo Marchant, "Decoding the Antikythera Mechanism, the First Computer," Smithsonian Magazine, February 2015,
https://www.smithsonianmag.com/history/decoding-antikythera-mechanism-firstcomputer-180953979/.
20. "Tyson Shrimp on TV," July 2, 1999, Great Yarmouth News, Town Centre Partnership,
http://gytcp.co.uk/news/tyson-shrimp-on-tv-710.html.
21. S. N. Patek, W. L. Korff, and R. L. Caldwell, "Biomechanics: Deadly Strike Mechanism of a Mantis Shrimp," Nature 428 (2004): 819–820.
22. Ella Davies, "The Most Powerful Punches and Kicks of All Time," Earth, BBC, June 6, 2017,
http://www.bbc.com/earth/story/20170605-the-most-powerful-punches-and-kicks-of-all-time.
23. Ed Yong, "How Mantis Shrimps Deliver Armour-Shattering Punches without Breaking Their Fists," Discover, June 7, 2012,
http://blogs.discovermagazine.com/notrocketscience/2012/06/07/how-mantisshrimps-deliver-armour-shattering-punches-without-breaking-their-fists/#.W9IHrGhKhPY.
24. T. I. Zack, T. Claverie, S. N. Patek, "Elastic Energy Storage in the Mantis Shrimp's Fast Predatory Strike," Journal of Experimental Biology 212 (2009): 4002–4009.
25. Ella Davies, "The Most Powerful Punches."
26. Ed Yong, "The Mantis Shrimp Has the World's Fastest Punch," National Geographic, June 19, 2008,
https://www.nationalgeographic.com/science/phenomena/2008/07/19/the-mantis-shrimp-has-theworlds-fastest-punch/?user.testname=lazyloading:1.
27. Zack, "Elastic Energy Storage in the Mantis Shrimp's Fast Predatory Strike."

28. Yong, "The Mantis Shrimp Has the World's Fastest Punch."
29. James C. Weaver et al., "The Stomatopod Dactyl Club: A Formidable Damage-Tolerant Biological Hammer," Science 336, no. 6086 (2012): 1275–80.
30. Yong, "How Mantis Shrimps Deliver Armour-Shattering Punches."
31. Ed Yong, "The Mantis Shrimp Has the World's Fastest Punch."
32. John Brittnacher, "What are Carnivorous Plants?" International Carnivorous Plant Society, January 2010, http://www.carnivorousplants.org/cp/carnivory/what. For an encyclopedic work that covers the ecology, diversity, and natural history of carnivorous plants see Stewart McPherson, Carnivorous Plants and Their Habitats, vols. 1 and 2, eds. Andreas Fleischmann and Alastair Robinson (Dorset, UK: Redfern Natural History Productions Ltd., 2010).
33. Aaron M. Ellison and Nicholas J. Gotelli, "Energetics and the Evolution of Carnivorous Plants—Darwin's 'Most Wonderful Plants in the World,'" Journal of Experimental Botany 60, no. 1 (2009): 21.
34. Brittnacher, "What are Carnivorous Plants?"
35. For a detailed description of this plant see "Dionaea muscipula—The Venus Flytrap," Botanical Society of America, https://botany.org/Carnivorous_Plants/venus_flytrap.php.
36. R. Hedrich and E. Neher, "Venus Flytrap: How an Excitable, Carnivorous Plant Works," Trends in Plant Science, 23, no 3 (2018): 220.
37. The Figure 5.4 cycle scheme was adapted from Hedrich and Erwin, "Venus Flytrap," 220–234.
38. Aaron M. Ellison and Nicholas J. Gotelli, "Energetics and the Evolution of Carnivorous Plants—Darwin's 'Most Wonderful Plants in the World,'" Journal of Experimental Botany 60, no. 1 (2009): 19.
39. Brittnacher, "What are Carnivorous Plants?"
40. For more examples of devolution, and the problem this pattern poses for modern evolutionary theory, see Michel Behe, Darwin Devolves: The New Science about DNA That Challenges Evolution (San Francisco: HarperOne, 2019).

الفصل السادس

الطيور.. دراسة حالة في البصيرة

1. Anders Hedenström et al., “Annual 10-Month Aerial Life Phase in the Common Swift Apus apus,” Current Biology 26, no. 22 (2016): 3066–3070.
2. Wolfgang Wiltschko and Roswitha Wiltschko, “Magnetic Orientation in Birds,” Journal of Experimental Biology 199, pt. 1 (1996): 29–38.
3. Anja Günther et al., “Double-Cone Localization and Seasonal Expression Pattern Suggest a Role in Magnetoreception for European Robin Cryptochrome 4,” Current Biology 28 (2018): 211–223; Atticus Pinzon-Rodriguez, Staffan Bensch, and Rachel Muheim, “Expression Patterns of Cryptochrome Genes in Avian Retina Suggest Involvement of Cry4 in Light-dependent Magnetoreception,” Journal of The Royal Society Interface 15, no. 140 (2018): 20180058.

4. David Kaiser, “Is Quantum Entanglement Real?” New York Times, Nov. 14, 2014, https://www.nytimes.com/2014/11/16/opinion/sunday/is-quantum-entanglement-real.html.

5. Albert Einstein, Boris Podolsky, and Nathan Rosen, “Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?” Physical Review 47 (1935): 777.
6. Juan Yin et al., “Lower Bound on the Speed of Nonlocal Correlations without Locality and Measurement Choice Loopholes,” Physical Review Letters 110 (2013): 260407.
7. Klaus Schulten and Albert Weller, “Exploring Fast Electron Transfer Processes by Magnetic Fields,” Biophysical Journal 24 (1978): 295–305.

8. Brian Brocklehurst and Keith Alan McLauchlan, “Free Radical Mechanism for the Effects of

Environmental Electromagnetic Fields on Biological Systems," International Journal of Radiation Biology 69 (1996): 3–24.

9. Thorsten Ritz, Salih Adem, and Klaus Schulten, "A Model for Photoreceptor-Based Magnetoreception in Birds," Biophysical Journal 78 (2000): 707–718.
10. Erik M. Gauger et al., "Sustained Quantum Coherence Entanglement in the Avian Compass," Physical Review Letters 106 (2011): 040503.
11. Lisa Grossman, "In the Blink of Bird's Eye, A Model for Quantum Navigation," Wired, January 27, 2011, https://www.wired.com/2011/01/quantum-birds/.
12. Fred Hoyle, "The Universe: Past and Present Reflections," Annual Review of Astronomy and Astrophysics 20 (1982): 16.
13. P. Hunton, "Research on Eggshell Structure and Quality: An Historical Overview," Revista Brasileira de Ciencias Avicolas 7, no. 2 (2005): 67.
14. "How Birds Get Oxygen Inside Their Eggs," NPR's Skunk Bear, April 17, 2018, https://youtu.be/wM33PtwtM4.
15. Gail Damerow, "What is an Egg Tooth?" Cackle Hatchery, August 26, 2016, https://blog.cacklehatchery.com/what-is-an-egg-tooth/.
16. Damerow, "What is an Egg Tooth?"
17. Damerow, "What is an Egg Tooth?"
18. Damerow, "What is an Egg Tooth?" Once the chick has broken free of the shell, its beak will continue to strengthen and grow. However, the egg tooth stops growing after hatching, drying up and falling off a few days later.
19. Quoted in Tim Birkhead, The Most Perfect Thing: Inside (and Outside) a Bird's Egg (New York: Bloomsbury, 2016), preface.
20. For some highly speculative scenarios on egg evolution, see: Mary C. Stoddard et al., "Avian Egg Shape: Form, Function, and Evolution," Science 356, no. 6344 (2017): 1249–54; David J. Varricchio and Frankie D. Jackson, "Reproduction in Mesozoic Birds and Evolution of the Modern Avian Reproductive Mode," The Auk 133, no. 4 (10 August 2016): 654–84.

الفصل السابع

البصيرة في الشكل البشري.. التكاثر

1. Jeffrey A. Riffell, Patrick J. Krug, and Richard K. Zimmer, "The Ecological and Evolutionary
Consequences of Sperm Chemoattraction," Proceedings of the National Academy of Science 101, no. 13 (2004): 4501–6.
2. Janice P. Evans and Harvey M. Florman, "The State of the Union: The Cell Biology of Fertilization," Nature Cell Biology & Nature Medicine 8, S1 (2002): S57–S63.
3. Michael J. Seckl, Neil J. Sebire, and Ross S. Berkowitz, "Gestational Trophoblastic Disease," The Lancet 376, no. 9742 (2010): 717–29.
4. Sarah Knapton, "Fertility Breakthrough: Scientists Discover How Sperm and Egg Bind," The Telegraph, April 16, 2014,
https://www.telegraph.co.uk/news/science/science-news/10771028/Fertilitybreakthrough-scientists-discover-how-sperm-and-egg-bind.html.

5. "Your Guide to Pregnancy Hormones: What to Expect," What to Expect, September 15, 2016,

https://www.whattoexpect.com/pregnancy/pregnancy-health/pregnancy-hormones.aspx.

6. Phyllis C. Leppert, "Anatomy and Physiology of Cervical Ripening," Clinical Obstetrics and Gynecology 38, no. 2 (1995): 267–79.
7. Pei-Yun Tsai et al., "IL-22 Upregulates Epithelial Claudin-2 to Drive Diarrhea and Enteric Pathogen Clearance," Cell Host & Microbe 21, no. 6 (2017): 671–81.
8. Haruka Ishimoto et al., "Claudin-2 Expression Is Upregulated in the Ileum of Diarrhea Predominant Irritable Bowel Syndrome Patients," Journal of Clinical

Biochemistry and Nutrition 60, no. 2 (2017): 146–50.
9. Charles Darwin, The Descent of Man, 1st ed. (London: John Murray, 1871), 27.
10. A recent global survey has suggested that appendicitis has been much less common in developing countries and that "the epidemiologic patterns of appendicitis support the notion that appendicitis is driven by multifactorial environmental triggers associated with the industrialization of society." See Mollie Ferris et al., "The Global Incidence of Appendicitis: A Systematic Review of Population-Based Studies," Annals of Surgery 266, no. 2 (2017): 241.
11. Johan Styrud et al., "Appendectomy versus Antibiotic Treatment in Acute Appendicitis: A Prospective Multicenter Randomized Controlled Trial," World Journal of Surgery 30, no. 6 (2006): 1033–37.
12. Nicholas B. Hanson and Dennis K. Lanning, "Microbial Induction of B and T Cell Areas in Rabbit Appendix," Developmental & Comparative Immunology 32, no. 8 (2008): 980–91.
13. Heather F. Smith et al., "Morphological Evolution of the Mammalian Cecum and Cecal Appendix," Comptes Rendus Palevol 16, no. 1 (2017): 39–57; R. Randal Bolliger et al., "Biofilms in the Large Bowel Suggest an Apparent Function of the Human Vermiform Appendix," Journal of Theoretical Biology 249, no. 4 (2007): 826–31.
14. Gregory P. Donaldson, S. Melanie Lee, and Sarkis K. Mazmanian, "Gut Biogeography of the Bacterial Microbiota," Nature Reviews Microbiology 14, no. 1 (2016): 20–32.

الفصل الثامن
التخطيط للحواس

1. Jennifer Leong, "Number of Colors Distinguishable by the Human Eye," The Physics Factbook, 2006, https://hypertextbook.com/facts/2006/JenniferLeong.shtml.

2. Leong, "Number of Colors."
3. Gunter Wyszecki, Color (Chicago: World Book Inc., 2006), 824.

4. Aristotle, On the Soul, trans. J. A. Smith, book 2, The Internet Classics Archive, http://classics.mit.edu//Aristotle/soul.html.

5. Charles Darwin, The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex (London: John Murray, 1871), 17.
6. Gordon M. Shepherd, "The Human Sense of Smell: Are We Better Than We Think?" PLoS Biology 2 (2004): e146.
7. John P. McGann, "Poor Human Olfaction Is a 19th-Century Myth," Science 356, no. 6338 (2017): eaam7263.
8. McGann, "Poor Human Olfaction."
9. Trina J. Lapis, Michael H. Penner, and Juyun Lim, "Humans Can Taste Glucose Oligomers Independent of the hT1R2/hT1R3 Sweet Taste Receptor," Chemical Senses 41(9) (2016): 755–762.
10. P. Dalton et al., "The Merging of the Senses: Integration of Subthreshold Taste and Smell," Nature Neuroscience 3 (2000): 431–32.
11. Jürgen Krieger and Heinz Breer, "Olfactory Reception in Invertebrates," Science 286, no. 5440 (1999): 720–23.
12. Karl P. N. Shuker, The Hidden Powers of Animals: Uncovering the Secrets of Nature (London: Marshall, 2001).
13. Monika Stengl, "Pheromone Transduction in Moths," Frontiers in Cellular Neuroscience 4 (2010): 133.
14. Stengl, "Pheromone Transduction in Moths," 133.
15. Steven Linton, Understanding Pain for Better Clinical Practice: A Psychological Perspective (New York: Elsevier Health Sciences, 2005).
16. Jennifer L. Hellier, ed., The Five Senses and Beyond: The Encyclopedia of Perception (Santa Barbara: Greenwood, 2016).
17. Steven Pete, "Congenital Analgesia: The Agony of Feeling No Pain," BBC News, July 17, 2012, http://www.bbc.com/news/magazine-18713585; Rogene Fisher, "Does Pain Serve a Purpose?" ABC News, May 13, 2005, http://abcnews.go.com/Health/PainManagement/story?id=741257&page=1.
18. Ya-Chun Chen et al., "Transcriptional Regulator PRDM12 is Essential for

Human Pain Perception," Nature Genetics 47 (2015): 803–8.
19. Mo Costandi, "Uncomfortably Numb: The People Who Feel No Pain," The Guardian, May 25, 2015, https://www.theguardian.com/science/neurophilosophy/2015/may/25/the-people-who-feel-no-pain. See also Mazen Kurban et al., "A Nonsense Mutation in the SCN9A Gene in Congenital Insensitivity to Pain," Dermatology 221 (2010): 179–83.
20. Mehran Karimi and Razieh Fa Llah, "A Case Report of Congenital Insensitivity to Pain and Anhidrosis (CIPA)," Iranian Journal of Child Neurology 6, no. 43 (2012): 45.
21. Karimi and Llah, "A Case Report," 45–48; Mukund D. Rahalkar, Anand M. Rahalkar, and S. K. Joshi, "Case Series: Congenital Insensitivity to Pain and Anhidrosis," Indian Journal of Radiology and Imaging 18, no. 2 (2008): 132–34; Leema R. Peddareddygari, Kinsi Oberoi, and Raji P. Grewal, "Congenital Insensitivity to Pain: A Case Report and Review of the Literature Case," Reports in Neurological Medicine 141953 (2014).
22. See Sarah Novotny and Len Kravitz, "The Science of Breathing," available on Kravitz's University of New Mexico page https://www.unm.edu/~lkravitz/Article%20folder/Breathing.html; see also Neil S.
Cherniack et al., "The Mechanics of Breathing," Encyclopaedia Britannica, https://www.britannica.com/science/human-respiratory-system/The-mechanics-of-breathing;
"IAQUK Resources – Respiratory System," IAQUK, http://www.iaquk.org.uk/ResourcesRespiratory.html.
23. "IAQUK Resources – Respiratory System."
24. Novotny and Kravitz, "The Science of Breathing."
25. Novotny and Kravitz, "The Science of Breathing"; Jorge Gallego, Elise Nsegbe, and Estelle Durand, "Learning in Respiratory Control," Behavior Modification 25, no. 4 (2001): 495–512.
26. Adam E. Ziemann et al., "The Amygdala Is a Chemosensor that Detects Carbon Dioxide and Acidosis to Elicit Fear Behavior," Cell 139, no. 5 (2009): 1012–21, https://doi.org/10.1016/j.cell.2009.10.029.

27. Cell Press, “Brain’s Fear Center is Equipped with Built-in Suffocation Sensor,” ScienceDaily, November 26, 2009, http://www.sciencedaily.com/releases/2009/11/091125134651.htm.
28. Jordan W. Smoller et al., “The Human Ortholog of Acid-Sensing Ion Channel Gene ASIC1a Is
Associated with Panic Disorder and Amygdala Structure and Function,” Biological Psychiatry 76, no. 11 (2014), 902–10.
29. Cell Press, “Brain’s Fear Center.”

الفصل التاسع

«البصيرة» ومستقبل العلم

1. Vladimir Matveev, “Development of a Chicken Embryo,” YouTube video, 2:06, May 25, 2008,
https://www.youtube.com/watch?v=LKvez9duEHQ; Yusaku Watanabe, “Observation of the Development of Chick Embryo,” YouTube video, 9:45, November 26, 2017, https://www.youtube.com/watch?v=uE0uKvUbcfw
2. Stephen C. Meyer, Darwin’s Doubt: The Explosive Origin of Animal Life and the Case for Intelligent Design (San Francisco: HarperOne, 2013), 328–9.
3. Michael Behe, Darwin Devolves: The New Science about DNA That Challenges Evolution (San Francisco: HarperOne, 2019).
4. For more on the problems facing the various post-Neo-Darwinian models, and why most of them are not really post-Neo-Darwinian models, see chapters 4 and 5 of Behe, Darwin Devolves, 93–137, and chapters 15 and 16 of Meyer, Darwin’s Doubt, 291–335.
5. Cosmos, “The Shores of the Cosmic Ocean,” 1. Directed by David Oyster et al. Written by Carl Sagan, Ann Druyan, and Steven Soter. PBS, September 28, 1980.
6. Francisco Ayala, “Chance and Necessity,” Counterbalance,

http://www.counterbalance.org/evolution/chance-frame.html.
7. J. J. Thomson, "Inaugural Address," The British Association at Winnipeg, Nature 81 (August 26, 1909), 257.

مسرد المصطلحات

Amino acids	الأحماض الأمينية؛ لبنات بناء البروتينات
Anammox bacteria	البكتيريا المؤكسدة للأمونيوم لاهوائيًا
Anammoxosomes	الجسيمات الأناموكسومية، حجيرات داخل بكتريا الأناموكس تخزن فيها المركب السام الهيدرازين
angiosperm	كاسيات البذور
Antikythera mechanism	آلية أنتيكيثيرا هي قطعة أثرية لآلة ميكانيكية معقدة من التروس والمسننات، اخترعها الإغريق للحساب الفلكي لمواقع الأجرام والتنبؤ الدقيق بالخسوف
Appendix, human	الزائدة الدودية
Apus apus	السمامة الشائعة (طائر مهاجر)

Aquaporins	المسام المائية قنوات في غشاء الخلية تسمح بمرور الماء وتمنع الأيونات غير المرغوبة من الدخول
Autotrophs	بكتريا ذاتية التغذية، تصنع جزيئات عضوية من مواد لا عضوية
Bacterial flagellum motor	محرك السوط البكتيري
bacterial flagellum motor	محرك السوط البكتيري؛ محرك نانوي مشكل من بروتينات في بداية السوط البكتيري
Biological nitrogen fixation (BNF)	التثبيت الحيوي للنيتروجين، تحويل النتروجين العنصري إلى مركبات حيوية تحوي النتروجين بواسطة بعض الميكروبات.
Biomimetics	المحاكاة الحيوية
Buckminsterfullerene	بوكمينستر فوليرين، مركب معقد
Buckyball	كرات بوكي، مركب معقد (بوكمينستر فوليرين)
cadaverine	مركب أميني رائحته مزعجة ينتج من تعفن الجيف
Capacitor	مكثف؛ أداة تقوم بتخزين الطاقة الكهربائية أو الشحنة الكهربائية لفترة من الزمن على شكل مجال كهربائي، يتكوّن من لوحين موصلين يحمل كل منهما

شحنة كهربائية متساوية في المقدار ومتعاكسة في الإشارة. ومن ثم تُستخدم الشحنة الكهربائية أو تتبدد في الوقت المناسب

capillary effect

الخاصية الشعرية؛ انتقال السائل من الأسفل إلى الأعلى في الأنابيب الشعرية (دون التأثير عليه بقوة خارجية). تنجذب بعض جزيئات الماء لجزيئات السطح الداخلي للأنبوب بفعل قوة التلاصق، وتشد جزيئات الماء هذه بدورها جزيئات الماء الأخرى المجاورة لها بفعل قوة التماسك، مما يؤدي إلى ارتفاع الماء إلى أن يصبح وزنه مساوياً لقوة الشد.

Carbon cycle

دورة الكربون

Carnivorous plants

نباتات مفترسة

Carnivory

الافتراس (أكل اللحوم مقابل أكل الأعشاب)

Cecum

الأعور؛ جزء من الأمعاء الغليظة ويعتبر بدايتها

Cervical dilation

توسع عنق الرحم

Chance and necessity

الصدفة والحتمية (وهو اسم كتاب مشهور)

Chaperones and chaperonins	الشابيرونات؛ بروتينات تشكل آلات جزيئية تعزز الانطواء الصحيح للبروتينات. الشابيرونينات؛ معقدات مضاعفة الحلقة، تؤدي عملها بالإحاطة الكاملة بالبروتينات لتطويها
Cilia	الأهداب، خلايا مهدبة لها استطالات توجد في قناة فالوب من الرحم
Cis	مقرون؛ وضع فراغي تكون الجذور في جانب واحد
Claudin-2 protein	بروتين كالودين-٢ له دور في تنظيم عملية الإسهال
Cnidarians	اللاسعات؛ حيوانات بسيطة تعيش في بيئات مائية. أخذت اسمها من الخلايا اللاسعة التي تحمل عضيات لاسعة stinging organelle
Codon	رامزة؛ ثلاثة قواعد نتروجينية يمكنها أن تتراص طبقا للشفرة الجينية تقابل كل ثلاثية نيكليوتيدية بأحد الحموض الأمينية العشرين
co-evolution	التطور المشترك أو المترادف أو المرافق؛ يمارس كل طرف ضغوط

	إنتقائية على الطرف الآخر فيؤثر على تطوره.
Comammox bacteria	بكتيريا الكومامكس (الأكسدة التامة للنشادر)
congenital analgesia	حالة فقدان الألم الخلقي
Convergence	تقارب تطوري
Cooption model	نموذج الخيار المشترك في التطور؛ يفترض استعمال أجزاء من أنظمة سابقة في تطور أنظمة جديدة.
Corpus luteum	الجسم الملوتن، أو الجسم الأصفر
Covalent bond	رابط تساهمي (مقابل الرابط الأيوني) هو رابط تتشارك فيه ذرتان زوج إلكتروني
Cry4	مركب كريبتوكرومي، يعتقد أن الطيور تستعمله لترى خطوط المجال المغناطيسي مستفيدة من التشابك الكمومي
Cryptochromes	الكريبتكرومات، بروتينات معقدة معظمها حساس للضوء
Darlingtonia	نبات زنبق الكوبرا (قاذف كاليفورنيا) من النباتات المفترسة
Darwin Devolves	تراجع داروين؛ كتاب لمايكل بيهي يتناول الكتاب تخريب الطفرات العشوائية للحياة (مترجم للعربية).

Darwin's Black Box	صندوق داروين الأسود، لمايكل بيهي (مترجم للعربية)
Deoxyribose for DNA	سكر الريبوز منقوص الأوكسجين للدنا
Derivatization	الاشتقاق؛ تقنية كيماوية يتم تحميل المركب إلى مركب آخر أكثر ملائمة للتفاعل أو التحليل.
Descent of Man	كتاب تطور الإنسان (لداروين) عبر فيه صراحة عن اعتقاده بتطور الإنسان وقد ألمح إليه فقط في كتاب أصل الأنواع.
Devolution	تراجع أو تطور عكسي
Dionaea muscipula	نبات صائد الذباب، مصيدة فينوس
dipole moment	عزم ثنائي القطب
Endometriosis	البطانة الهاجرة
Epigenetic inheritance	الوراثة فوق الجينية
Evolutionary developmental biology (evo-devo)	بيولوجيا التطور النمائي
Fine tuning	الضبط الدقيق
fine tuning	الضبط الدقيق؛ معناه أن الثوابت والكميات الأساسية في الكون تقع في نطاق دقيق للغاية لدرجة أنه إذا لم يكن الأمر كذلك، فلن يُسمح بنشأة وتطور الحياة.
Flagellar filament caps	قبعات ألياف السوط البكتيري

Flagellin	بروتين السوطين المكون للسوط البكتيري
Flagellum	السوط (البكتيري)
floating ice	الجليد الطافي؛ الجليد المتشكل يطفو على سطح المياه ويترك الماء السائل تحته
Fluidity	ميوعة؛ يقصد بها لزوجة الطبقة الدهنية المزدوجة للغشاء الخلوي التي تزيد وتنقص حسب المكونات الداخلة تركيبه
Follicle-stimulating hormone (FSH)	الهرمون المنبه للجريبات (FSH) هو أول هرمون في شلال هرمونات الحمل، ينبه إحدى الجريبات فيحفزها على النضج وإنتاج هرمون الأستروجين
frozen accident	حادث متجمد؛ مصطلح اقترحه كريك مكتشف الدنا لتفسير نشأة الشيفرة الوراثية، وتعني الحادث المنفرد الذي حدد أمورًا أساسية لا يمكن تغييرها لاحقًا رغم أن له نتائج واسعة.
Fullerene	فوليرين، مركبات ضخمة
Gears in insects	مسنَّنات نقل حركة في الحشرات
genetic code	الشيفرة الوراثية
genetic information	المعلومات الوراثية

Genetic redundancy	التكرار الوراثي
Glycoproteins	بروتينات سكرية
GroES and GroEL	نوعان من البروتينات المساعدة في تطوي البروتينات الأخرى
Heat shock protein (HSP)	بروتينات الصدمة الحرارية
Heterotrophs	بكتريا غيرية التغذية
Heterotrophs	بكتريا مغايرة التغذية؛ تأخذ طعامها من الغير ولا تصنعه من مواد لا عضوية.
Homochirality	التجانس المرآتي، أو تجانس عدم التناظر المرآتي، وصف لأجسام لا تنطبق على صورة المرآة.
Homology	التماثل في صفة (وعندما يكون دون وجود سلف مشترك يدعى حاليًا التشابه (homoplasy
Homoplasy	التشابه في الأعضاء رغم عدم وجود أصل مشترك
homoviscous adaptation	التكيف متجانس اللزُّوجة تكيف تركيب دهون الغشاء الخلوي للحفاظ على ميوعة غشائية مناسبة
Human chorionic gonadotropin hormone (hCG)	هرمون الغدد التناسلية المشيمية البشرية (hCG) هو مرسال "حضري للحمل" يطلق إنتاج هرموني الأستروجين والبروجستيرون بمجرد تخصيب

البويضة. ويساعد في الحفاظ على الجسم الأصفر إلى أن تستلم منه المشيمة هذه المهمة. ويقوم بتثبيط جزء الجهاز المناعي للأم الذي قد يخطئ ويعتبر طفلها جسمًا غريبًا ويزيله

Human placental lactogen (hPL)
هرمون اللاكتوجين المشيمي البشري (hPL) مسؤول عن إرسال الرسائل إلى ثدي الأم، ليجعله جاهزًا للرضاعة الطبيعية

Hydrazine
الهيدرازين N2H4 مركب كيميائي مهم يستعمل في وقود المحركات النفاثة ومحركات الصواريخ.

Hydrophilic
محب للماء، صفة لجزيء أو جزء منه ينجذب للماء والمركبات القطبية الأخرى ويتفاعل معها أكثر من المركبات الزيتية وغير القطبية

Hydrophobic
كاره للماء؛ صفة لجزيء أو جزء منه يتميز باللاقطبية وعدم الانجذاب للماء

induction
الحث؛ إزالة البروتين الكابت للتعبير عن المورثة

Insectivorous Plants
النباتات المفترسة للحشرات

Intelligent design
التصميم الذكي

Interleukin-22 protein	بروتين إنترلوكين-٢٢ يساعد في تنظيم عملية الإسهال
irreducibly complex	ذو تعقيد غير قابل للاختزال
Issus	الإيسوس؛ جنس من الحشرات
Izumo protein	بروتين إيزومو موجه لالتقاء النطفة والبيضة، يوجد على سطح النطفة سمي على اسم معبد ياباني للزواج
Juno protein	بروتين جونو موجه لالتقاء النطفة والبيضة، يوجد على سطح البيضة سمي على اسم آلهة الخصوبة الرومانية
lac operon	أوبيرون اللاكتوز؛ ثلاثة مورثات تعمل معًا بشكل مترادف لتسهل استقلاب اللاكتوز.
Ladderanes	مركبات السلالم أو اللادرينات، هو جزيء عضوي يحتوي على حلقتين أو أكثر من حلقي البوتان المنصهر
Lipidomics	ليبيدوميات علم الدهنيات بوصفه دراسة على نطاق واسع من المسارات والشبكات للدهنيات الخلوية في النظم الأحيائية
London dispersion forces	قوى تشتت لندن؛ جزء من قوى فان دير فالس. وهي قوة بين جزيئات ضعيفة،

	ناشئة عن الأستقطاب اللحظي متعدد الأقطاب بين الجزيئات.
Luteinizing hormone (LH)	الهرمون الملوتن، الهرمون المنشط للجسم الأصفر، اختصارًا LH، يفرز من الغدة النخامية.
Magnetoreception	الاستقبال أو الإدراك المغناطيسي، الإحساس الذي يسمح للكائن الحي باكتشاف المجال المغناطيسي ليرى الاتجاه أو الارتفاع أو الموقع
Mantis shrimp	روبيان السرعوف الطاووسي
Mass Spectrometry	مِطْياف الكُتلة
Megapode bird	طير الشقبانية
Micelles	مُذَيْلَات؛ تجمعات جزيئية فيها اصطفاف للأطراف القطبية وغير القطبية من جزئ عامل على السطح ثنائي القطبية
Monomers	موحودات أو مونومرات أو أحادي القسيمة؛ جزيء صغير يمكن أن يرتبط بنفسه أو غيره مرارًا ليشكل مركبات كبيرة (بوليمر)
Morse code	شيفرة مورس
Mount Improbable	جبل اللااحتمال؛ من عنوان كتاب صعود جبل اللاحتمال الذي حاول مؤلفه الرد

على مقولة أن الانتقاء الطبيعي يستحيل أن ينشئ التعقيد البيولوجي

Multiverse	الأكوان المتعددة، مجموعة افتراضية من عدة أكوان، يرغب بها البعض كمهرب من ظاهرة الضبط الدقيق في كوننا وهي أكوان لا يمكن مشاهدتها واختبارها وتعتمد على حسابات نظرية رياضية فقط.
Nanomachine	آلة نانوية
naturalism	المذهب الطبيعي؛ أو الطبيعانية الفكرة أو المعتقد الذي يُشير إلى أن القوانين والقوى الطبيعية (في مقابل الخارقة للطبيعة أو الروحانية) هي الوحيدة العاملة في العالم، وهنالك من يفصلها إلى طبيعانية وجودية ذات اقتضاء فلسفي، وطبيعانية منهجية ترتبط بطرائق العمل دون افتراض أنها حقيقة مطلقة.
Neo-Darwinism	الداروينية الجديدة
Nepenthes	النابنطيات أو السلويات
Neutral evolution (non-adaptive evolution)	التطور المحايد (التطور غير التكيفي)
Nitrification	عملية النترجة؛ أكسدة الأمونيا (النشادر) إلى النترات، وتقوم به البكتريا كجزء من دورة النتروجين.

Nitrogen cycle	دورة الآزوت
Nociceptors	مستقبلات الألم
Nymphalid planthopper	البارقة الحورائية، حشرات بحجم البرغوث من جنس الإيسوس
Odontodactylus scyllarus	فميات الأرجل
Operator	مُشغل؛ تسلسل مُنظِّم في الدنا يعطي أمر بدء عملية انتساخ الجين البنيوي.
Operon	أوبيرون أو المَشغل؛ عبارة عن تسلسل من الدنا يحتوي على مجموعة من الجينات متجاورة (عناقيد) لها وظائف متعلقة بعملية حيوية مشتركة
Oxytocin	هرمون الأوكستوسين؛ يحفز تقلصات العضلات التي تنسق مخاض الولادة. كما أنه يحفز حلمتي الثديين من أجل الرضاعة الطبيعية ويعرف باسم "هرمون الحب"، لأنه يساعد الأم على الارتباط العاطفي مع طفلها
Ozone	غاز الأوزون
Pauli Exclusion Principle	مبدأ استبعاد باولي، من مبادئ ميكانيك الكم وينص على أنه لا يمكن لاثنين من الفيرميونات أن يحتلا نفس الحالة الكمومية

Petroleomics
البتروليومات: علم تحديد إجمالي مكونات البترول الطبيعي والنفط الخام باستخدام مقياس الطيف الكتلي عالي الدقة

Phosphate anion
أنيون الفوسفات

Phospholipids
فوسفولبيدات؛ مركبات دسمة ثنائية القطبية

Photolysis
تحلل ضوئي؛ تحطم الجزئيات إلى وحدات أصغر عن طريق امتصاص الضوء.

Pregnancy hormones
هرمونات الحمل

Progesterone
البروجسيترون؛ هرمون متعدد الوظائف يحفز نمو أنسجة الثدي، ويساعد على تليين الأربطة والغضاريف قبل المخاض لتسهيل ولادة الطفل.

Prolactin
البرولاكتين أو هرمون الحليب هو هرمون بيبتيدي (مصنوع من سلاسل أحماض أمينية، يقابل ذلك الهرمونات الستيروئيدية المصنوعة من نواة الكولسترول) يفرز من الفص الأمامي للغدة النخامية ويرتبط دوره بعملية الإرضاع حيث يعمل كمحفز لإدرار الحليب من الغدد الثديية.

promoter
محفز؛ تسلسل من النيوكليوتيدات موجود في الدنا، له دور رئيسي في ارتباط إنزيم رنا بوليميريز لبدء عملية النسخ الوراثي (يختلف عن المعزاز enhancer من حيث أنه ملاصق للمورثة وليس بعيدًا عنها)

Prostaglandins
البروستغلاندينات، من مستقلبات حمض الأراكيدونيك، لها أدوار حيوية متعددة مهمة

proteasomes
البروتيوزومات؛ أنزيمات هاضمة للبروتين تنظف داخل الخلية من البروتينات الشاذة التي لم تأخذ شكلها الفراغي الصحيح.

Proteomics
البروتيوميات هي الدراسة الشاملة لجميع أصناف وأنواع البروتينات

Proteostasis
استباب البروتينات

Punctuated equilibrium
التوازن النقطي أو التوازن المتقطع؛ نظرية فرعية في التطور تقول بالقفزات

Putrescine
مركب أميني رائحته مزعجة ينتج من تعفن الجيف

quantum entanglement
التشابُك الكُمُومي

Quantum mechanics
ميكانيك الكم

question-begging rule	قاعدة تصادر على المطلوب (قاعدة تفترض مسبقًا صحة ما نسعى لإثباته)
Racemic mixture	مزيج راسمي؛ مزيج يحوي كمية متساوية من النظير الميمن والنظير الميسر
radical pair	الزوج الجذري، زوج إلكتروني فقط أحد إلكتروناته، أو إلكترونان غير مقترنين يرتبطان بما يعرف باسم التشابك الكمومي
Raschig process	عملية راشيغ؛ عملية تصنيع كيميائية لإنتاج الفينول
redundancy	التكرار؛ تعدد الرامزة الجينية أو وجود أكثر من ثلاثية نيكلوتيدية للحمض الأميني الواحد
Relaxin	هرمون الريلاكسين يوجه جسم الأم لإرخاء العضلات والعظام والأربطة والمفاصل للسماح بتوسع عنق الرحم لجعل ولادة الطفل ممكنة.
resonance	رنين (كيمياء)؛ الروابط بين ذرات في جزيء أو في أيون متعدد الذرات لا يمكن وصفها بصيغة واحدة فقط وإنما في صيغ عديدة

RNA World | عالم الرنا؛ عالم الحمض الريبي النووي، عالم متخيل في إحدى نظريات نشأت الحياة يعتمد على مكون رئيسي أولي هو الحمض النووي الريبي RNA الذي يصنع الدنا لاحقا ثم البروتينات

Rudimentary | رديمية؛ غير متطورة وغير مكتملة النمو

Science and Human Origins | كتاب العلم وأصل الإنسان (كتاب يتناول أصل الإنسان من وجهة نظر مغايرة للاتجاه التطوري السائد)

Self-organization (evolutionary) | التنظيم الذاتي (التطوري)

semantic logic | المنطق الدلالي

singlepoint mutations | طفرات النقطة الواحدة؛ طفرة تؤدي إلى تبديل نوكليوتيد مفرد فقط

Smog | الضبخان؛ خليط من الدخان والضباب فوق المدن والمناطق الصناعية

specific heat | الحرارة النوعية؛ كمية الحرارة اللازمة لرفع وحدة الكتلة من مادة مقدار درجة مئوية واحدة.

Spin | دوران (للإلكترون والجسيمات المشابهة)

super-solvent | المحل الخارق

Teleology | العلة الغائية

Trans	مفروق؛ وضع فراغي تكون الجذور في جانبين متعاكسين
warm little pond	بركة صغيرة دافئة (عبارة استخدمها دارون في كتابه أصل الأنواع للتعبير عن بيئة نشأة الحياة، وقد تعمد جعله تعبيرًا غائمًا لأن هذه المرحلة أكثر عقبات التطور صعوبة)
Zona pellucida	المنطقة الشفافة للبيضة
α-Amino Acid	حمض أميني ألفا، سميت ألفا لأن جذري الأمين والهيدروكسيل يرتبطان بذرة الكربون الأولى في السلسلة.